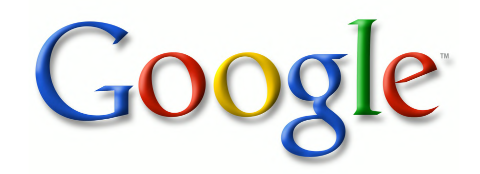
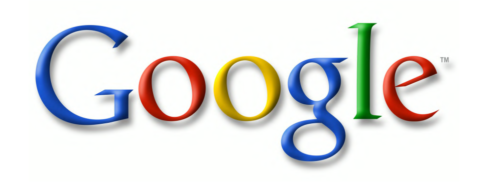



Google

LES NOUVELLES

MACHINES MARINES

22970. — PARIS, TYPOGRAPHIE A. LAHURE
9, Rue de Fleurus, 9

LES NOUVELLES
MACHINES MARINES

SUPPLÉMENT AU TRAITÉ
DES
APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION
MIS EN HARMONIE
AVEC LA THÉORIE MÉCANIQUE DE LA CHALEUR

Par A. LEDIEU, O. ✻, O. ✪, ✻,
ANCIEN OFFICIER DE VAISSEAU, EXAMINATEUR DE LA MARINE,
PRIX EXTRAORDINAIRE DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES POUR L'APPLICATION DE LA VAPEUR A LA FLOTTE,
CORRESPONDANT DE L'INSTITUT.

Et H. HUBAC, ✻, ✪,
MÉCANICIEN PRINCIPAL DE PREMIÈRE CLASSE,
PROFESSEUR DE MACHINES A VAPEUR SUR LE VAISSEAU-ÉCOLE.

OUVRAGE RÉDIGÉ
POUR LA PARTIE PRATIQUE
AVEC LE CONCOURS DE
M. GILBERT, ✻,
PREMIER MAITRE-MÉCANICIEN
ADJOINT A L'ENSEIGNEMENT DES MACHINES A VAPEUR SUR LE VAISSEAU-ÉCOLE.

ENRICHI DE NOMBREUSES GRAVURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE
AVEC ATLAS
CONTENANT

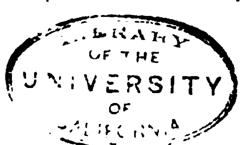
DIX BELLES PLANCHES, où figurent les principaux types actuels d'appareils à vapeur de navigation ordinaires et Compound; leurs organes détaillés, les nouveaux systèmes de chaudières marines, de nombreuses courbes de régulation, d'indicateur et autres;

ET NEUF GRANDS TABLEAUX, donnant tous les éléments des coques et des machines des différentes espèces de navires de guerre actuels français et étrangers; la régulation, les essais, et les proportions des propulseurs et des générateurs d'un grand nombre de bâtiments à hélice de toutes catégories, munis de machines ordinaires ou Compound.

TOME III

PARIS
DUNOD, ÉDITEUR
LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES
49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1880



LES

NOUVELLES MACHINES

MARINES

CHAPITRE IV

DISPOSITIONS RÉCENTES SE RENCONTRANT DANS LES PROPULSEURS, LES CHAUDIÈRES ET LES APPAREILS ALIMENTAIRES, D'ÉPUISEMENT DE CALE ET AUXILIAIRES DIVERS DES MACHINES MARINES ACTUELLES.

Chap. iv, § 1er. — Propulseurs.

N° 55. — 1. Types d'hélices les plus répandues actuellement. — 2. Remarques sur le recul négatif. — 3. Considérations générales sur la propulsion des navires. Du coefficient de vitesse actuellement en usage. — 4. Calcul de l'effort exercé sur le palier de butée, le bâtiment en marche ou amarré. — 5. Hélices jumelles. — 6. Évolueurs mécaniques. — 7. Dispositions diverses relatives à l'installation des hélices à l'arrière et aux organes des lignes d'arbres.

N° 55_1 Types d'hélices les plus répandues actuellement. — En examinant les résultats des essais des divers bâtiments (tableaux B (*suite*) et C (*suite*)), on voit qu'au point de vue du recul il y a peu à gagner : car bon nombre d'entre eux sont inférieurs à 0,1. On ne peut espérer apporter des améliorations au fonctionnement du propulseur, qu'au point de vue de l'utilisation de la puissance et de la diminution des vibrations qu'il communique au bâtiment. C'est en vue de ces améliorations que les propulseurs que nous allons décrire ont été conçus. — Les pas variables ont été conservés par la plupart des constructeurs anglais; mais ils ont été abandonnés en France comme ne donnant que peu ou point de bénéfices, et créant des difficultés dans l'exécution du propulseur. Les modifications importantes

que l'on rencontre dans les nouvelles hélices, portent soit sur la forme particulière de la génératrice, soit sur la coupe des ailes qui ont une courbe pour ligne médiane, au lieu d'avoir une ligne droite.

Fig. 34, Pl. VI. **Hélice Griffith.** — Sur un moyeu sphérique A, *fig.* 34, *pl.* VI, sont montées quatre ailes déployées B, emmanchées par des tenons cylindriques très-larges, mais très-courts. Chaque aile se raccorde sur son tourillon par une forte collerette boulonnée sur le moyeu et maintenue par les vis *b*. — L'emmanchement *a* du bout de l'arbre est conique, et cet arbre est maintenu par des clavettes a_1, engagées dans le moyeu et dans une entaille tangente pratiquée sur l'arbre. Ces clavettes sont mises en place avant les ailes ; on les introduit par les trous d'emmanchement de ces dernières, que prolongent les cavités *a'* du moyeu. — Les sections *c*, *c'*, *c''*, sont faites dans une aile par des cylindres concentriques au moyeu. Ces sections, qui donnent l'épaisseur de l'aile en divers points de sa longueur, sont ramenées dans le même plan dans la *vue* 2°.

La génératrice de la surface des ailes est légèrement courbe, comme le montre la *vue* 1°. Les deux extrémités, l'une sur l'axe et l'autre sur le bord de l'aile, sont dans un plan perpendiculaire à l'arbre. La flèche maximum de la courbure est aux trois cinquièmes du rayon, et vaut environ 0,04 du diamètre. En avant de ce point, vers l'axe, la génératrice s'écarte peu d'une ligne droite ; c'est seulement en dehors que la courbure est prononcée. — La directrice est une spire ordinaire, ainsi que le montrent les parties rectilignes des coupes concentriques, *vue* 2°. — Le pas est croissant depuis le moyeu jusqu'à l'extrémité des ailes. Les fractions de pas varient dans l'ordre inverse. Voici d'ailleurs les proportions pour l'hélice représentée en *fig.* 34, *pl.* VI.

Aux $\frac{2}{5}$ du rayon	Pas = 1,06 du diamètre extérieur D. Fraction de pas totale = 0,75, soit 0,80 D.
Aux $\frac{3}{4}$ du rayon. . . .	Pas = 1,22 D. Fraction de pas totale = 0,53, soit 0,65 D.
Aux $\frac{4}{5}$ du rayon	Pas = 1,31 D. Fraction de pas totale = 0,35, soit 0,46 D.
A l'extrémité	Pas = 1,33 D . . . .

La forme donnée à la génératrice a pour but d'éviter, dans une certaine mesure, la dispersion des filets liquides sous l'action de la force centrifuge, et de chasser l'eau, le plus possible, dans la direction de l'axe du bâtiment. L'augmentation du pas depuis le moyeu jusqu'aux extrémités des ailes a le même but : le pas étant plus petit sur les parties voisines du moyeu, ces parties ont une inclinaison plus grande sur l'axe ; leur effet propulsif est plus efficace, et l'eau étant repoussée dans une direction qui s'écarte moins de l'axe, le développement de la force centrifuge est moindre. Enfin, toutes ces circonstances réunies ont permis de donner aux ailes une très-grande largeur dans les régions voisines du moyeu, et de diminuer la résistance qui agit avec le plus grand bras de levier, vers les extrémités, ce qui était nécessaire en vue de l'emmanchement des ailes et de leur fixation sur le moyeu. Toutefois, ce mode de fixa-

tion laisse à désirer, car les tenons des ailes ont si peu de hauteur que toute la résistance doit être supportée par le boulonnage. — Somme toute, ce genre d'hélice a donné de bons résultats pratiques, et fonctionne sans occasionner de trépidations sensibles.

On rencontre aussi, sur quelques bâtiments anglais, une disposition de l'hélice *Griffith*, à deux branches, qui présente un autre mode de jonction des ailes. Le moyeu est formé par deux cônes opposés par la base, et dont l'axe commun est perpendiculaire à celui de l'arbre. La racine de chaque aile est très-large; elle est creusée et ajustée sur les cônes formant le moyeu, de manière à embrasser la moitié de chacun d'eux. Les racines des ailes forment, par suite comme un deuxième moyeu autour du premier. La jonction est opérée par deux énormes boulons qui traversent le moyeu et les racines des ailes, tangentiellement à l'arbre, et dont les têtes et les écrous sont noyés dans les racines des ailes. Les axes de ces boulons et l'axe commun des cônes formant le moyeu sont dans le même plan, et les deux premiers axes sont perpendiculaires au second.

Hélice Hirsch. — Cette hélice a un pas d'entrée et un pas de sortie; la génératrice est une spirale dont la concavité est tournée vers l'avant, l'hélice tournant de gauche à droite. Les ailes sont par suite courbes, l'extrémité étant plus avancée que la racine dans le sens du mouvement de rotation. Cette disposition a pour but de faire disparaître les trépidations qu'occasionne généralement le propulseur, en évitant, dans une certaine mesure, la dispersion des filets liquides, et par suite d'augmenter le rendement. La construction de cette hélice est représentée par la *fig.* 29 du texte.

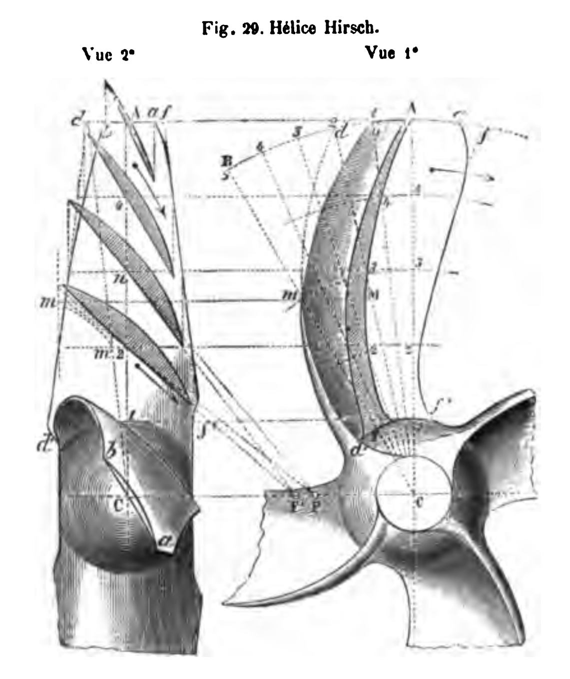
L'hélice est à quatre branches déployées sur un moyeu sphérique dont le rayon est égal au dixième du diamètre. L'arc AB, *vue* 1°, d'environ 30°, étant partagé en cinq parties égales, par exemple, le rayon CA est partagé en un même nombre de parties égales; les points de rencontre des rayons de division de AB avec les arcs de cercle concentriques qui passent par les points de division de CA, donnent les points de la spirale CMA qui doit servir de génératrice. — On pourrait employer toute autre courbe, un arc de cercle, par exemple. La courbe CMA est l'intersection de la surface agissante de l'hélice, lors de la marche avant, avec un plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre. La position de cette génératrice, qui est la ligne médiane de l'aile, se projette par suite suivant une ligne droite AC, *vue* 2°.

Les fractions de pas sont croissantes depuis l'extrémité de l'aile jusqu'au moyeu; en ce dernier point la fraction de pas est double, environ, de ce qu'elle est à l'extrémité de l'aile. df *vue* 2° étant cette dernière, $d'f'=2df$, et l'on joint dd' et ff'. Les portions de parallèles à l'axe comprises entre ces deux dernières droites et menées par les points de division de CA, donnent les fractions de pas intermédiaires. Il est alors facile de construire la projection de l'aile *vue* 1°, puisque chaque portion d'arc de projection qui correspond à une coupe concentrique, est égale à la circonférence du cylindre sécant multipliée par la fraction de pas correspondante. — Le bord supérieur f de l'arête d'entrée est légèrement arrondi sur une longueur égale à 0,1 environ du rayon.

L'arête de sortie *dd'* est coupée suivant une courbe *mb* qui part des trois cinquièmes du rayon, et qui enlève le quart environ de la fraction de pas de

Fig. 29. Hélice Hirsch.

Vue 2° Vue 1°



Vue 1°. Hélice vue de l'arrière, avec épure de construction et coupe donnant les épaisseurs des ailes aux divers points de leur longueur.
Vue 2°. Élévation de côté et coupes concentriques dans une aile.

l'extrémité de l'aile. D'autre part, les arêtes d'entrée et de sortie sont légèrement arrondies à la racine, pour se raccorder sur le moyeu. L'aile ainsi modifiée se projette en *abmd'f'a vue* 2°.

Si sur la courbe médiane CMA, on porte les épaisseurs des ailes en divers points du rayon, en obtient la coupe *vue* 1°. Les coupes *vue* 2°, qui donnent les diverses inclinaisons de la face agissante de l'aile, sont obtenues de la manière suivante: CF' et CF, *vue* 2°, sont le pas d'entrée et le pas de sortie divisés par 2π; il en résulte que les obliques, telles que F*n* et F'*n*, donnent l'inclinaison de l'hélice à l'extrémité du rayon C*n*. La différence FF' est égale au pas de sortie CF multiplié par la moitié du recul présumé. — On obtient les inclinaisons des diverses coupes en joignant les extrémités 2, *n*, 4 et A des rayons aux points F et F'; la moitié avant de l'aile participe du pas d'entrée CF'; la partie arrière participe du pas de sortie CF. Il n'y a plus qu'à rapporter les épaisseurs relevées sur la coupe *vue* 1°. — Pour la coupe 2, et pour celles qu'on pourrait faire près du moyeu, le pas de sortie est modifié; ce pas diminue de plus en plus en approchant du moyeu, et devient même inférieur au pas d'en-

trée. Cette modification s'étend dans la partie arrière de l'aile, sur une surface comprise entre l'oblique *Cd* et la courbe *m'm*, qui prend naissance aux deux cinquièmes du rayon et vient rencontrer le bord de l'aile à une distance du centre un peu inférieure aux trois cinquièmes de ce rayon. — La diminution croissante du pas de sortie a pour but de faciliter le dégagement de l'eau près du moyeu.

D'après le mode de génération de l'hélice *Hirsch*, les ailes sont fortement infléchies, et sont d'ailleurs courbes. Il en résulte une diminution notable de la force centrifuge développée sur l'eau que les ailes actionnent, et une moins grande divergence des filets liquides que l'hélice refoule sur l'arrière. Par suite, les trépidations sont notablement réduites, sinon complétement annulées. — Quant au recul, il n'est pas inférieur à celui des hélices ordinaires de la marine française.

L'hélice *Hirsch*, bien que d'une grande difficulté de construction, est très-répandue en Angleterre. Par contre, elle est très-peu usitée en France; les hélices ordinaires, à ailes courbes, *fig.* 2, *pl.* VIII et *fig.* 30 du texte, sont d'une construction beaucoup plus simple et procurent les mêmes avantages que l'hélice *Hirsch*.

Hélice à ailes courbes de la marine française. — Cette hélice, représentée par la *fig.* 2, *pl.* VIII, est d'une construction beaucoup plus facile que l'hélice *Hirsch*, et présente les mêmes avantages au point de vue de l'absence de trépidations.

La face arrière des ailes est une surface hélicoïdale à pas constant et à génératrice droite. La courbure des ailes résulte de la manière dont la surface hélicoïdale de chacune d'elles a été limitée. — *abc* étant la ligne médiane d'une aile limitée par deux génératrices droites, on a fait en arrière du sens de la rotation l'angle *cad* = 20°; l'on a pris *ab* = 1/5 du rayon, et l'arc de cercle *db* qui passe par le point *d* et qui est tangent à *ac* en *b*, détermine la projection *dba* de la ligne médiane de l'aile de l'hélice à construire. Pour limiter l'aile, il faut se reporter aux fractions de pas adoptées pour divers points du rayon, faire passer par ces points des arcs de cercle, et porter, à partir de la médiane *dba*, la moitié de la fraction correspondante de la circonférence. Ainsi à l'extrémité de l'aile, la fraction de pas totale étant de 0,046, vaut 0,0115 pour chaque aile, si ces dernières sont au nombre de quatre; l'arc *mn* vaudra donc le 0,0115 de la circonférence, et *dm* = *dn* vaudront la moitié de cette quantité. — Les courbes passant par les extrémités des arcs ainsi obtenus pour divers points du rayon limiteront l'aile. Fig. 2, Pl. VIII.

Il résulte de la méthode employée pour limiter les ailes que ces dernières ont leurs extrémités rejetées sur l'arrière, par rapport au moyeu, comme le montre la *vue* 1°. — Le rendement de l'hélice n'est pas sensiblement augmenté par cette disposition; mais les trépidations de l'arrière sont sensiblement diminuées, l'eau n'étant pas projetée

contre la traverse supérieure de la cage comme avec les hélices ordinaires.

La coupe *xr* figurée sur l'aile, *vue* 2°, donne les épaisseurs en divers points de la largeur de l'aile. Ces épaisseurs sont comprises entre deux courbes, dont l'une étant la courbe médiane de l'aile, l'autre vient presque tangente au moyeu. — Cette coupe n'est pas le rabattement exact de la coupe de l'aile.

Voici les dimensions principales de cette hélice pour une machine de 4.000 chevaux indiqués, donnant 56 tours par minute.

Diamètre		4m,800
Pas (1,666 du diamètre)		8m,000
Fractions de pas totales	à l'extrémité des ailes	0m,046
	au milieu des ailes	0m,060
	au moyeu	0m,130
Nombre d'ailes déployées		4
Coefficient de recul		0 ,115

Autre type d'hélice à ailes courbes de la marine française. — Cette hélice a été construite pour le *Tourville* (n° 31_2). — En principe, ce croiseur avait une hélice *Mangin* à deux ailes doubles. Dès les premiers essais, et bien avant que la machine eût développé toute sa puissance, les trépidations imprimées par l'hélice à tout le bâtiment furent tellement fortes, que l'on craignit pour la solidité de la mâture. Les *Forges et chantiers de la Méditerranée* construisirent alors la nouvelle hélice qui nous occupe, et qui est représentée par *fig.* 30.

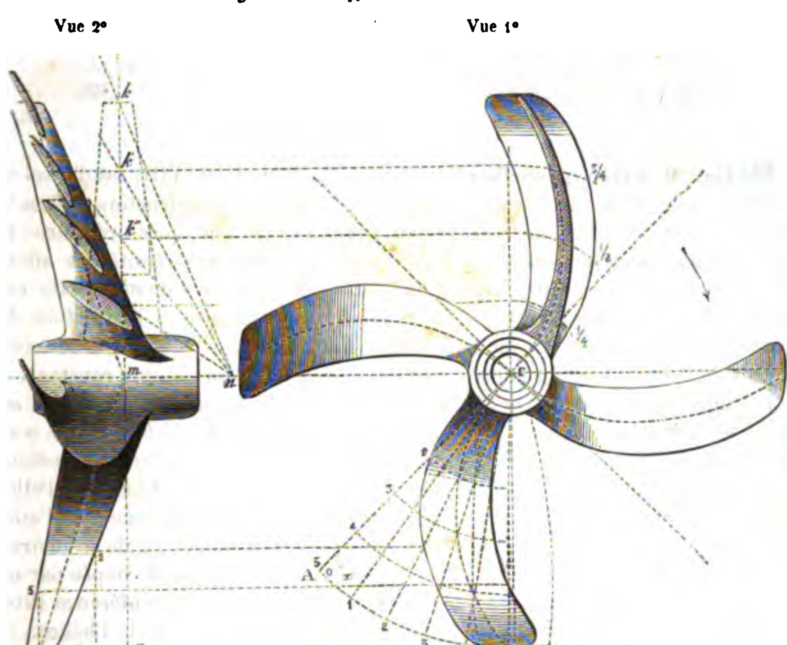
La génératrice est droite; la directrice est une spire ordinaire à pas constant. Les lignes médianes des ailes ont pour projection sur le cercle des spirales CB, *vue* 1°, construites de la manière suivante : l'écart AB embrasse un angle de 43° à 44°; en partageant l'arc AB et le rayon en un même nombre de parties égales, en menant des rayons par les premiers points de division, et des arcs concentriques par les seconds, on trouve les divers points de la courbe CB qui est la projection de la ligne médiane de l'aile. Il n'y a plus, pour achever la projection de ces ailes, qu'à porter, de chaque côté de la ligne médiane, les portions d'arcs qui correspondent aux demi-fractions de pas partielles. En joignant, de chaque côté, les points trouvés par une courbe, on obtient la *vue* 1°. Les bords extérieurs des ailes sont légèrement arrondis principalement sur l'arête entrante.

Pour la *vue* 2°, l'écart *ab* dont est rejetée sur l'arrière l'extrémité de la ligne médiane de chaque aile, est déterminé par la proportion : $\frac{ab}{\text{pas}} = \frac{\text{AB}}{\text{circonférence}}$.

Pour projeter les bords des ailes, il faut partager *ab* en un même nombre de parties égales que l'arc AB, mener les ordonnées qui représentent des rayons, et projeter sur chaque ordonnée le point de rencontre du bord de l'aile avec le rayon qui porte le même numéro de division que cette ordonnée.

L'aile droite, tracée en pointillé, *vues* 1° et 2°, représente la forme qu'auraient

Fig. 30. Autre type d'hélice à ailes courbes.



Vue 1°. Hélice vue de l'arrière, avec épure de construction et coupe donnant l'épaisseur des ailes aux divers points de leur longueur.
Vue 2°. Élévation de côté et coupes concentriques dans une aile.

les ailes de l'hélice si les lignes médianes étaient des rayons. Les obliques pointillées *nk*, *nk'*, *nk''*, *vue* 2°, donnent l'inclinaison de la spire et par suite de la section de l'aile, pour les divers points du rayon médian que ces obliques coupent. Les sections réelles ont la même inclinaison. Cette manière de faire est basée sur l'égalité : *Tang. inclinaison* $= \frac{\text{pas}}{2\pi R} = \frac{\text{pas} : 2\pi}{R}$. Or, la hauteur *mn* vaut *pas* : 2π ; et comme *mk*, *mk'*, *mk''*, etc., sont les rayons aux divers points considérés de l'aile, les obliques *nk*, *nk'*, *nk''*, etc., sont dirigées suivant l'inclinaison.

Cette hélice a l'avantage, comme la précédente, d'éviter les trépidations; car, en raison de la coupe des ailes, l'effet centrifuge sur l'eau est moins sensible que dans les hélices ordinaires. Voici ses

dimensions pour une machine de 7.200 chevaux indiqués fonctionnant à 76 tours par minute.

Diamètre		5m,760
Pas (1,319 du diamètre)		7m,730
Diamètre du moyeu		0m,910
Nombre d'ailes déployées		4
Fractions de pas totales	à l'extrémité des ailes	0 ,16
	au milieu des ailes	0 ,32
	au moyeu	0 ,64
Coefficient de recul d'après les expériences		0 ,093

Fig. 3, Pl. VIII. **Hélice à ailes percées.** — Cette hélice, *fig.* 3, *pl.* VIII, est d'origine anglaise; elle était montée sur le transport *l'Oise*; sa construction présente quelques particularités intéressantes. La directrice est une spire ordinaire; le pas est *progressivement croissant* depuis le moyeu jusqu'à l'extrémité des ailes. Ce pas vaut, près du moyeu, 1,22 du diamètre, et la fraction de pas totale est de 0,26; à l'extrémité des ailes, le pas vaut 1,30 du diamètre et la fraction de pas 0,15 seulement, en raison de l'arrondi de l'aile. En dedans de cet arrondi, le produit de la valeur du pas par la fraction de pas est un nombre constant.

Les ailes, au nombre de quatre, se raccordent sur un moyeu sphérique *m*, d'un rayon égal aux 0,2 du rayon de l'hélice. Les arêtes *ab* et *a'b'* des ailes sont des lignes droites situées dans des plans parrallèles entre eux et perpendiculaires à l'axe; mais ces lignes ne rencontrent pas ce dernier. Chacune d'elles vient couper le plan qui passe par l'axe de l'hélice et la ligne médiane de l'aile, de l'autre côté de l'axe par rapport à l'aile, et à une distance égale à environ 0,1 du rayon. Au delà du point *b'*, la partie entrante de l'aile est coupée par un cylindre dont l'intersection *b'd* raccorde l'arête *a'b'* avec la circonférence extérieure. Le rayon de ce cylindre vaut les 0,37 environ du rayon de l'hélice. — Sur l'arête de sortie, l'angle extérieur n'est que très-légèrement arrondi.

L'évidement *c*, pratiqué sur chacune des ailes, présente à peu près la forme de l'aile elle-même. Cet évidement s'étend depuis les 0,32 jusqu'aux 0,82 du rayon. La surface enlevée par chaque évidement est d'environ un cinquième de la surface totale d'une aile. Cet évidement a pour but de diminuer la résistance de l'aile et de permettre à la portion de surface qui est près de l'arête de sortie d'agir efficacement, car elle rencontre une eau qui n'a pas été actionnée pendant tout le temps du passage de cet évidement.

N° 55₂ Remarques sur le recul négatif. — On dit que le recul est négatif lorsque le chemin fait par le bâtiment dans un tour d'hélice est plus grand que le pas. En principe, quand c'est l'hélice qui propulse, il ne doit pas y avoir de recul négatif par rapport à l'eau dans laquelle se meut le bâtiment. Un semblable recul ne peut être trouvé que si la vitesse du navire étant mesurée le long d'une base fixe, le bâtiment avance dans une eau animée d'une vitesse propre, dans le sens même de la marche du navire. En l'absence de courant, un fort vent arrière peut produire, sinon un recul négatif, du moins

un recul très-faible, surtout s'il y a de la mer due au vent régnant, parce que la lame pousse le bâtiment dans la direction de sa route.

Les reculs insignifiants ou même négatifs que l'on a constatés sur quelques bâtiments, lors de leurs essais, peuvent provenir de l'une des quatre causes suivantes et quelquefois de leurs actions combinées.

1° *De la variation, pendant la durée des essais, de l'intensité du courant le long de la base mesurée.* — La variation du courant peut être au désavantage de la vitesse, si ce courant est plus fort lorsque le bâtiment marche à contre que lorsqu'il va dans le même sens que lui, et le recul augmente. Dans le cas contraire, la variation du courant est favorable à la vitesse ; le recul diminue et peut devenir négatif par rapport au chemin fait le long de la base mesurée, mais il reste positif par rapport à l'eau.

Ce fait s'explique de lui-même. Nous l'avons constaté notamment lors des expériences du *Colbert* du 19 avril 1877. Voici, à ce point de vue, les résultats de ces expériences :

Heure de la pleine mer.		7h 6m matin, et 7h 30m soir.
Direction et intensité du vent		N.N.E., *jolie brise*.
Direction de la route	Parcours d'aller, du Minou aux Vieux-Moines.	S 68° O
	Parcours de retour, des Vieux-Moines au Minou.	N 68° E
1er double parcours	Aller, de 10h 07m à 10h 34m 53s. Recul . . .	= − 0,031
	Retour, de 10h 52m à 11h 25m 53s. Recul . . .	= + 0,149
2e double parcours	Aller, de 11h 40m à 12h 07m 21s. Recul . .	= − 0,059
	Retour, de 12h 28m à 1h 01m 17s. Recul . . .	= + 0,118
3e double parcours	Aller, de 1h 19m à 1h 46m 54s. Recul . . .	= − 0,047
	Retour, de 2h 09m à 2h 41m 39s. Recul . . .	= + 0,113
4e double parcours	Aller, de 2h 52m à 3h 20m 44s. Recul . . .	= − 0,007
	Retour, de 3h 30m à 4h 01m 25s. Recul . . .	= + 0,066
	Moyenne du recul.	= + 0,038

On voit que dans les parcours d'aller, le vent et le courant ont été favorables à la marche, et que le contraire a eu lieu dans les parcours de retour. Les variations de l'intensité du courant se font bien sentir ; car, le long de la base, c'est vers 10h 30m que le courant était dans toute sa force et vers 2h 30m que la mer était étale.— En ne considérant que l'influence des variations du courant, la moyenne aurait été exacte si le dernier parcours de retour s'était effectué avec une intensité de courant égale et de sens contraire à l'intensité du courant du premier parcours d'aller. Mais il n'en a pas été ainsi, et le premier parcours d'aller ayant été effectué avec le courant, le recul trouvé est trop faible; on obtient un résultat bien différent si on élimine le premier et le dernier parcours. En effet, le recul moyen prend alors une valeur de 0,047 ; mais il faut considérer que, dans ce cas, la base aurait été attaquée avec le courant contre, et que, par suite, le recul trouvé doit être trop fort.

A notre point de vue, la valeur la plus approchée du recul est la moyenne des résultats relevés pendant le troisième double parcours, et pendant l'aller du quatrième double parcours, parce que la mer était étale ou à peu près pendant le retour du troisième double parcours ; on trouve ainsi pour le recul moyen, 0,043.

Lorsque le recul négatif provient de la cause qui nous occupe, la valeur du

coefficient de vitesse M (n° 55_3) est toujours élevée, eu égard aux formes et aux dimensions du bâtiment. Ainsi, pour le *Colbert*, et dans les expériences relatées ci-dessus, on a obtenu $M = 4,48$; tandis que dans l'expérience du 24 avril, pour laquelle on a un recul de 0,049, sans qu'il soit négatif dans aucun parcours, on a obtenu $M = 4,40$ seulement.

Nous devons encore faire une remarque au sujet du courant : il arrive fréquemment qu'à la suite des pluies, surtout dans le goulet de Brest, et généralement sur les côtes le long desquelles se déversent des cours d'eau d'une certaine importance, il se forme un courant d'eau douce bourbeuse qui se fait sentir au-dessous de la flottaison, à partir de 2^m environ, et qui marche même en sens contraire de la marée montante. Ce courant donne à l'hélice du bâtiment qui marche dans le même sens que lui, un point d'appui plus résistant qui doit faire diminuer le recul, tandis qu'il doit faire augmenter ce recul pour le parcours inverse. Son influence est naturellement toute locale, mais il était bon de la signaler.

2° *Du relevé inexact du pas de l'hélice.* — Avec les hélices à pas croissant, on obtient un recul très-faible ou même négatif, en comparant l'avance par tour au pas moyen ou au pas de la corde, tandis que c'est avec le pas de sortie qu'il faut dans tous les cas comparer cette avance, ainsi que cela se fait d'ailleurs actuellement en France. Avec les hélices à pas constant, telles qu'on les construit presque toutes aujourd'hui, le recul négatif peut provenir de ce qu'on a relevé, après la construction, un pas plus faible que celui qui existe réellement. Il peut arriver aussi que toutes les ailes n'ayant pas la même inclinaison, ou bien les différentes parties des ailes n'ayant pas toutes le même pas, par suite d'un gauchissement dû au retrait du métal après la coulée, on fasse une moyenne inexacte. C'est ce qui a lieu en prenant la moyenne arithmétique des différents pas relevés, sans tenir compte des différences considérables d'action des divers éléments de l'aile, suivant la distance de ces éléments à l'axe de rotation.

3° *De la déformation des ailes de l'hélice par suite de la résistance de l'eau.* — On remarque, en effet, que le recul négatif n'est généralement constaté qu'avec la marche à grande vitesse, alors que la résistance opposée par l'eau au mouvement de l'hélice atteint sa plus grande valeur. Il peut résulter de cette résistance une déformation des extrémités des ailes, qui tendent naturellement à se courber, et qui se courbent même réellement, en même temps que le pas devient plus grand, car la résistance est plus considérable vers l'arête d'entrée que vers l'arête de sortie. A cause de l'action plus considérable des extrémités des ailes, le bâtiment avance en raison d'un pas plus grand que le pas normal de l'hélice, et le recul compté sur ce dernier pas devient alors très-faible ou même négatif.

4° *De l'existence sur l'arrière du navire d'une certaine masse d'eau qui suit le bâtiment.* — Dans cette hypothèse, qui est admise par quelques ingénieurs (n° 144_8 du *G^d Traité*), l'hélice pourrait bien avoir un recul positif par rapport à l'eau sur laquelle elle s'appuie; mais cette dernière étant animée d'un mouvement en avant, le recul serait finalement négatif. — Lorsque les formes de l'arrière sont défectueuses et que les filets liquides déplacés par le bâtiment ne viennent pas se rejoindre naturellement derrière l'étambot avec une vitesse

transversale nulle, il se produit une dépression sur l'arrière, et une masse d'eau se précipite comme pour suivre le bâtiment. Mais l'hélice fonctionne alors dans de très-mauvaises conditions au point de vue de l'utilisation, car l'eau ne se renouvelle pas avec facilité au point où elle se trouve. D'autre part, l'eau qui afflue sur l'arrière frappe les ailes dans le sens du travers et a pour effet principal d'absorber une grande partie du travail moteur. Dans tous les cas, le mouvement de l'eau sur l'arrière étant déterminé par une dépression, il résulte de cette dépression la perte d'un certain travail moteur que la plus grande résistance opposée aux ailes ne peut compenser. Par suite, le recul négatif obtenu dans ces conditions ne saurait être avantageux, et la valeur du coefficient de vitesse M (n° 55_3) qui correspond à la marche, doit être faible. — Nous n'avons pas constaté ce cas de recul négatif sur des bâtiments de notre flotte; mais nous en trouvons un exemple frappant dans les résultats des essais de la *Jumna* et du *Northumberland* de la marine anglaise. Voici ces résultats :

Jumna, $B^2 = 48^{m.q}$	Puissance sur les pistons = 4.894^{ch}. . . . . Vitesse.	= 13nd,774
	Recul = — **0,064**. . . . . Valeur de M.	= **2,948**
	Puissance sur les pistons = 2.466^{ch}. . . . Vitesse.	= 11nd,054
	Recul = — **0,065**. . . . . Valeur de M.	= **2,336**
Northumberland, $B^2 = 104^{m.q}$	Puissance sur les pistons = 6.621^{ch}. . . . Vitesse.	= 13nd,953
	Recul = — **0,108**. . . . . Valeur de M.	= **3,494**
	Puissance sur les pistons = 3.557^{ch}. Vitesse. . . .	= 11nd,254
	Recul = — **0,162**. . . . . Valeur de M.	= **3,548**

En présence de ces résultats, il est difficile d'admettre que le recul négatif provient de la déformation des ailes, puisque ce recul négatif est plus grand avec la moitié de la puissance qu'à toute vapeur. Les valeurs du coefficient de vitesse M sont très-faibles, et cela ne peut tenir qu'aux formes des bâtiments; il résulte de la dépression produite sur l'arrière d'abord une perte de vitesse pour le bâtiment, et en second lieu une plus grande résistance au mouvement de rotation de l'hélice, due à la masse d'eau qui se précipite contre l'étambot, résistance qui ne peut être entièrement utilisée pour la marche, car la puissance récupérée de ce fait est toujours inférieure à la cause qui l'a produite.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer, en passant, l'énorme disproportion qui existe entre la puissance dépensée pour la vitesse de 13 à 14 nœuds par les bâtiments ci-dessus, et celle deux fois plus faible que possèdent nos bâtiments similaires pour la même vitesse.

N° 55_3 Considérations générales sur la propulsion des navires. — Toutes les questions qui concernent le problème de la propulsion par l'hélice sont développées au n° 146 du *G^d Traité*. Nous y ajouterons quelques considérations extraites d'un travail récent. M. *Antoine*, ingénieur de la marine, dans un mémoire présenté à l'Académie des sciences et publié en 1872, a proposé deux formules

très-simple pour résoudre le problème de la propulsion hélicoïdale. Ces formules sont été vérifiées sur un millier d'essais faits sur des bâtiments de types divers, chacun de ces essais n'étant lui-même que la moyenne de nombreux parcours effectués pendant toute une série d'expériences. Voici le résumé de ce mémoire.

Une hélice fictive de diamètre D, de pas H et de fraction de pas $f=1$, se projette sur un plan perpendiculaire à l'axe suivant une surface $\frac{\pi D^2}{4}$, et sur un plan parallèle à l'axe suivant une surface HD. Si cette hélice est mise en mouvement, et fait n tours par seconde, les filets liquides tendent à prendre dans le sens de l'axe une vitesse nH, et dans le sens perpendiculaire une vitesse dépendant de la distance du centre de pression à l'axe de l'hélice. En supposant ce centre de pression à une distance $\frac{\delta D}{2}$ de l'axe de rotation, la vitesse latérale des filets liquides est $\pi\delta nD$.

Avec l'hypothèse que la résistance d'une surface S qui se meut dans l'eau avec une vitesse V, est représentée par l'expression KS^2V^2, on a :

$$\text{(1)} \quad \left.\begin{array}{c}\text{Travail de l'hélice par seconde}\\ \text{dans le sens de l'avance}\end{array}\right\} = K_1K'\frac{\pi D^2}{4}n^3H^3.$$

K' étant le coefficient de résistance élémentaire de l'hélice.

K_1 étant un coefficient qui tient compte du recul, en même temps que de l'influence de l'immersion de l'hélice, de l'incidence des filets liquides et des difficultés que l'eau éprouve à arriver sur l'hélice, suivant la fraction de pas. On peut poser $K_1=\frac{K'_1}{i}$, le coefficient K'_1 étant indépendant de l'immersion et le coefficient i en tenant spécialement compte.

En désignant par a l'avance du bâtiment par tour d'hélice, on a aussi :

$$\text{(2)} \quad \left.\begin{array}{c}\text{Travail résistant du bâtiment}\\ \text{dans une seconde. . . . .}\end{array}\right\} = KB^2n^3a^3.$$

De l'égalité des expressions (1) et (2) on tire :

$$a=\sqrt[3]{\frac{K'_1\pi K'}{4}}\times\sqrt[3]{\frac{D^2}{iKB^2}}\times H.$$

On sait que le rapport $\frac{KB^2}{D^2}$ est ce que l'on nomme d'ordinaire la résistance relative conventionnelle (n° 146_1 du *G^d Traité*). Pour simplifier on pose $\sqrt[3]{\frac{K'_1\pi K'}{4}}=\beta$, et $\frac{iKB^2}{D^2}=\varphi^3$; on a alors :

$$\text{(3)} \quad a=\frac{\beta}{\varphi}\times H.$$

Le coefficient β varie avec les différents rapports du pas au diamètre qui déterminent l'inclinaison avec laquelle l'hélice vient frapper l'eau, ainsi qu'avec la fraction de pas et le nombre d'ailes. De l'égalité ci-dessus on tire :

$$\beta = \frac{a}{H} \times \varphi,$$

et l'on a ainsi une formule qui servira à étudier les valeurs particulières de β. Il résulte d'un grand nombre d'expériences que l'on peut poser :

$$(4) \qquad \beta = A + 0{,}33f - 0{,}4\,\frac{H}{D},$$

expression dans laquelle les valeurs de A sont les suivantes :

A = 2,65	pour les hélices à	6	ailes simples.
A = 2,62	—	5	—
A = 2,58	—	4	—
A = 2,51	—	3	—
A = 2,44	—	2	—
A = 2,48	—	2	ailes doubles ou triples.

La valeur moyenne de β s'écarte peu du nombre 2; elle n'a varié au maximum, dans tous les essais analysés, que de 1,85 à 2,15, mais elle a été plus généralement comprise entre 1,95 et 2,05.

Le coefficient $\varphi = \sqrt[3]{\frac{iKB^2}{D^2}}$ ne peut être déterminé que si l'on connaît, au moins d'une manière approximative, le coefficient K de résistance du bâtiment. Si dans l'égalité (3), $a = \frac{\beta}{\varphi} \times H$, on remplace φ par sa valeur ci-dessus, on a :

$$a = \beta \times \sqrt[3]{\frac{D^2}{iKB^2}} \times H;$$

d'où :

$$K = \left(\frac{\beta H}{a}\right)^3 \times \frac{D^2}{iB^2}.$$

Les valeurs moyennes de K, ainsi calculées pour un grand nombre de bâtiments, sont résumées par l'expression :

$$(5) \qquad K = \frac{V}{\sqrt[3]{B^2}} + 2^{kg}$$

V étant la vitesse en nœuds à l'heure.

Les diverses valeurs que prend *i* suivant l'immersion de l'hélice, et qui ont

servi pour le calcul des valeurs de K, résultent d'expériences faites par M. *Rennie*. Elles sont données dans le tableau suivant :

HAUTEUR d'eau au-dessus du cercle extérieur de l'hélice.	VALEURS de i.	HAUTEUR d'eau au-dessus du cercle extérieur de l'hélice.	VALEURS de i.	HAUTEUR d'eau au-dessus du cercle extérieur de l'hélice.	VALEURS de i.
0^m,20	1,300	0^m,80	1,020	1^m,40	0,942
0 ,30	1,240	0 ,90	1,000	1 ,50	0,935
0 ,40	1,180	1 ,00	0,983	1 ,60	0,930
0 ,50	1,130	1 ,10	0,970	1 ,70	0,926
0 ,60	1,090	1 ,20	0,958	1 ,80	0,922
0 ,70	1,050	1 ,30	0,950	1 ,90	0,920

La vitesse latérale des filets liquides étant $\pi\delta n D$, on a :

(6) $$\left.\begin{array}{r}\text{Travail de l'hélice par seconde}\\ \text{dans le sens de la rotation.}\end{array}\right\} = K''HD \times \pi^3\delta^3 n^3 D^3.$$

K″ étant le coefficient de résistance de l'hélice dans le sens de la rotation.

Or, le travail ci-dessus est égal au travail que l'arbre de couche transmet à l'hélice, soit :

$$75Fu = K'HD \times \pi^3\delta^3 n^3 D^3.$$

F étant la force en chevaux de 75^{km} sur les pistons ;
u le coefficient de rendement de la machine sur l'arbre.

De là on tire :

$$n = \sqrt[3]{\frac{75u}{K'\pi^3\delta^3}} \times \frac{\sqrt[3]{F}}{D\sqrt[3]{HD}}.$$

Et si l'on désigne par N le nombre de tours par minute, d'où $n = \frac{N}{60}$, il vient :

$$N = \frac{60\sqrt[3]{75u}}{\sqrt[3]{K'\pi^3\delta^3}} \times \frac{\sqrt[3]{F}}{D\sqrt[3]{HD}}.$$

Pour abréger, on désigne par α le premier terme du second membre, et par θ le dénominateur du second terme ; il vient alors :

(7) $$N = \frac{\alpha}{\theta}\sqrt[3]{F}.$$

La valeur $\theta = D\sqrt[3]{HD}$, est déterminée par les dimensions de l'hélice.

Le coefficient $\alpha = \frac{60\sqrt[3]{75u}}{\sqrt[3]{K'\pi^3\delta^3}}$ dépend du nombre d'ailes, de la fraction de pas et du diamètre. L'expérience indique qu'il est encore fonction de la vitesse du bâ-

timent; plus cette vitesse est grande et plus facilement l'hélice tourne. La valeur de α dépend également du degré d'affinement des formes de l'arrière du bâtiment et de la facilité avec laquelle les filets liquides peuvent arriver sur l'hélice. L'expérience a démontré que dans la majorité des cas on peut poser :

$$(8) \qquad \alpha = 114 - 1{,}5E - 15f - 20\frac{H}{D} + \frac{V}{2}.$$

E étant le nombre d'ailes;
f la fraction de pas totale;
V la vitesse en nœuds à l'heure.

Du coefficient de vitesse actuellement en usage. — Le travail sur les pistons nécessaire pour imprimer à un navire une vitesse demandée est fonction de quatre quantités indépendantes l'une de l'autre : la vitesse cherchée, la forme et la grandeur de la carène, l'utilisation de l'hélice et enfin l'utilisation du moteur. — Soient :

F en chevaux de 75^{km}, le travail brut sur les pistons.
u le coefficient de rendement de la machine sur l'arbre.
u' le coefficient de rendement de l'hélice.
B^2 la maîtresse-section immergée, en mètres carrés.
V la vitesse en nœuds à l'heure.
v $= 0^m{,}514$ V, la vitesse en mètres par seconde.
K le coefficient de résistance du bâtiment.

On a, d'après le principe de l'égalité du travail moteur à la somme des travaux résistants :

$$75uu'F = KB^2v^3 = 0{,}514^3KB^2V^3;$$

d'où l'on tire :

$$V = \frac{\sqrt[3]{\frac{75uu'}{K}}}{0{,}514} \times \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}.$$

Avec les machines marines, il est impossible de mesurer directement u et u'; le coefficient K ne s'obtient lui-même que par approximation. Dans ces conditions, pour juger, par voie de comparaison, jusqu'à quel point la vitesse est satisfaisante, eu égard au travail développé sur les pistons, on pose :

$$\frac{\sqrt[3]{\frac{75uu'}{K}}}{0{,}514} = M,$$

et l'on a :

$$(9) \qquad V = M\sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}.$$

La quantité M prend le nom de *coefficient de vitesse.*

Le tableau suivant (pages 18 et 19) donne la valeur de M pour différents groupes de bâtiments. On remarque que ce coefficient augmente avec le tonnage du bâtiment et surtout avec l'affinement des formes de l'arrière. Sa valeur varie entre 3,75 et 4,40; elle va rarement au-dessus de ce dernier chiffre.

C'est à l'aide de l'égalité (9) ci-dessus que l'on calcule la puissance F nécessaire pour imprimer à un bâtiment de maîtresse-section B^2 une vitesse V; on a alors :

$$F = \frac{V^3}{M^3} \times B^2.$$

La valeur de M doit être prise égale à celle d'un bâtiment similaire autant que possible du bâtiment en projet. (Voir la note qui précède les tableaux de l'*Atlas*.)

L'ancien coefficient de vitesse m (n° 146_1, du G^d *Traité*) était employé dans la formule :

$$V = m \sqrt[3]{\frac{F'}{B^2}(p-6)}; \qquad (10)$$

F' étant la force réalisée et obtenue au moyen de l'ancienne formule $F' = \frac{aD^2CN}{0,59}$.

Le changement de coefficient de vitesse résulte du changement dans la manière de compter la force des machines, qui s'exprimait autrefois en chevaux de 75^{km} sur l'arbre, tandis qu'elle s'exprime aujourd'hui en chevaux de 75^{km} sur les pistons.

En égalant les expressions (9) et (10) et en élevant au cube, on a:

$$M^3 \frac{F}{B^2} = m^3 \frac{F'}{B^2}(p-6)$$

or,

$$F = \frac{7,117 \frac{a}{2} D^2CNp}{75} \text{ (N° } 112_2 \text{ du } G^d \textit{ Traité});$$

$$F' = \frac{aD^2CN}{0,59} \text{ (N° } 113_2 \text{ du } G^d \textit{ Traité});$$

on en déduit:

$$M = m \sqrt[3]{\frac{75 \times 2}{7,117 \times 0,59}} \times \sqrt[3]{\frac{p-6}{p}} = m \times 3,293 \sqrt[3]{\frac{p-6}{p}}.$$

Voici, d'après les calculs de M. *Mangin*, le coefficient par lequel il faut multi-

plier l'ancienne valeur (m) du coefficient de vitesse pour obtenir la nouvelle valeur (M) de ce coefficient.

PRESSION effective sur les pistons en *cm.* de mercure p.	VALEUR DE $3,29\sqrt[3]{\frac{p-6}{p}}$	PRESSION effective sur les pistons en *cm.* de mercure p.	VALEUR DE $3,29\sqrt[3]{\frac{p-6}{p}}$	PRESSION effective sur les pistons en *cm.* de mercure p.	VALEUR DE $3,29\sqrt[3]{\frac{p-6}{p}}$
20	2,921	70	3,193	120	3,234
25	3,002	75	3,200	130	3,238
30	3,054	80	3,206	140	3,242
35	3,090	85	3,211	150	3,246
40	3,116	90	3,215	160	3,249
45	3,137	95	3,219	170	3,251
50	3,153	100	3,223	180	3,253
55	3,166	105	3,226	190	3,255
60	3,176	110	3,229	200	3,257
65	3,185	115	3,232	220	3,260

Le tableau ci-après donne les moyennes en nombres ronds, concernant les coques et la propulsion des bâtiments à hélice actuels, groupées par catégorie de navires sensiblement de même espèce et grandeur.

N° 55_4 Calcul de l'effort exercé sur le palier de butée, le bâtiment étant en marche ou amarré. — La poussée sur le palier de butée fait avancer le bâtiment; cette force est juste égale et directement opposée à la résistance du navire. Elle ne pourrait être déterminée, pour une allure quelconque, qu'au moyen d'un dynamomètre de poussée; pour la trouver par le calcul, il faut envisager le cas général de marche par calme. Dans cette hypothèse, on peut poser :

$$P = KB^2V^2 \times 0^m,514^2,$$

expression dans laquelle on représente par :

P l'effort au palier de butée en kilogrammes;
B^2 la maîtresse-section immergée en mètres carrés;
V la vitesse du bâtiment en nœuds à l'heure; le facteur numérique $0^m,514$, est le chemin que parcourt dans une seconde un bâtiment filant 1 nœud à l'heure;
K le coefficient de résistance du bâtiment, et qui d'après l'égalité (5) du numéro 55_3 donnée par *M. Antoine*, mais pour le cas exclusif de marche par calme, peut être pris égal à $K = \frac{V}{\sqrt[3]{B^2}} + 2^{kg}$.

En adoptant cette dernière valeur de K, il vient :

$$P = \left(\frac{V}{\sqrt[3]{B^2}} + 2\right) B^2V^2 \times 0^m,514^2.$$

ÉLÉMENTS

CONCERNANT LES COQUES ET LA PROPULSION DES BATIMENTS A HÉLICE ACTUE

RELATIVES A DES NAVIRES SENSIBLEME

NOMBRE des bâtiments entrant dans chaque moyenne.	NOMS DES BATIMENTS.	ESPÈCE des bâtiments.	COQUES					
			LONGUEUR de la carène.	RAPPORT de la longueur de la carène à la largeur.	SURFACE immergée du maître-couple. B².	RAPPORT du deplacement au parallélipipède circonscrit	ANGLE DE LA LIGNE de flottaison avec l'axe longitudinal du navire — Avant.	ANGLE DE LA LIGNE de flottaison avec l'axe longitudinal du navire — Arrière.
			mètres.		m. carrés.		degrés.	degrés.
6	Marengo, Solférino, Suffren, Numancia, Héroïne, Couronne.	Cuirassés de 1er rang.	86	4,9	111	0,58	29	34
8	Valeureuse, Magnanime, Flandre, Provence, Savoie, Gauloise, Normandie, Revanche. . . .	Cuirassés de 1er rang.	80	4,7	98	0,53	25	28
4	Jeanne d'Arc, Belliqueuse, Thétis, La Galissonnière (deux hélices).	Cuirassés de 2e rang. .	72	4,1	72	0,62	24	43
2	Var, Tarn.	Transports.	82	6,1	58	0,53	21	33
2	Infernet, Sané. . . .	Corvettes rapides. . .	78	7,1	38	0,48	26	33
4	Cosmao, Talisman, Forbin, Hugon. . .	Avisos. . .	64	6,1	32	0,44	21	30
3	Dives, Seudre, Vienne .	Transports.	63	6,3	33	0,56	27	46
4	Anaclyr, Gironde, France, Amérique.	Paquebots. .	117	9,4	60	0,37	10	15
7	Péreire, Washington, Saint-Laurent, Donnaï, Provence, Étoile du Chili, Tigre. .	Paquebots. .	101	8,2	52	0,49	12	25

ÉNÉRAUX

; PRINCIPALES CATÉGORIES, GROUPÉS PAR MOYENNES EN NOMBRES RONDS,
MÊME ESPÈCE ET GRANDEUR.

HÉLICES.				RÉSULTATS DÉDUITS DES ESSAIS.			
DIAMÈTRE.	RAPPORT du pas au diamètre.	FRACTION du pas totale au milieu des ailes,	RAPPORT du maître-couple à la surface projetée de l'hélice.	VITESSE en nœuds à l'heure. V.	NOMBRE de chevaux indiqués, attelés à chaque mètre carré du maître-couple	UTILISATION $= \frac{B^2 V^3 (0,514)^3}{\text{force en chevaux indiqués } F}$.	COEFFICIENT DE VITESSE (M dans la formule) $V = M \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$
mètres.				nœuds.	chevaux.		
6,1	1,41	0,26	14,6	13,3	31	0,132	4,20
6,0	1,40	0,26	13,2	13,7	33	0,142	4,27
5,0	1,28	0,21	18,4	12,5	26	0,140	4,25
4,3	1,63	0,24	14,9	11,0	17	0,149	4,33
5,0	1,19	0,28	11,3	14,8	50	0,116	4,01
3,5	1,62	0,26	13,2	11,7	28	0,105	3,87
3,3	1,12	0,20	15,2	10,1	20	0,093	3,76
5,0	1,40	0,28	7,6	14,4	44	0,110	3,93
5,1	1,35	0,30	8,7	13,1	44	0,104	3,85

La puissance de la machine, ou le travail développé sur les pistons dans une seconde, n'entre dans l'expression ci-dessus que par la valeur de V, valeur qui ne varie, toutes choses égales d'ailleurs, qu'avec la puissance développée sur les pistons. Aussi, la valeur de P ainsi calculée, ne peut être applicable qu'au cas où le vent et la mer n'accroissent pas la résistance d'une manière anormale, en faisant diminuer directement la valeur de V.

Dans le cas de fort vent debout ou grosse mer, l'effort au palier de butée augmente, bien que la vitesse diminue, et il convient alors de traiter la question d'une autre manière. Soient :

F le travail sur les pistons en chevaux de 75^{km};
u le coefficient de rendement de la machine sur l'arbre·
u' le coefficient de rendement de l'hélice.

On a :

$$75Fuu' = PV \times 0{,}514;$$

d'où :

$$P = \frac{75Fuu'}{V \times 0{,}514}.$$

Pour une même puissance développée sur les pistons, le coefficient de rendement u de l'hélice, diminue avec la vitesse du navire; ce coefficient et cette vitesse deviennent nuls en même temps, et si l'un devient négatif, l'autre le devient également. Il est bien évident que si la machine développe la même puissance et que la vitesse diminue par suite du vent et de la mer, c'est que la résistance du bâtiment augmente, et qu'il en est par suite de même de l'effort au palier de butée.

Si la vitesse devient nulle, le bâtiment se trouve, au point de vue de la vitesse et du fonctionnement de l'hélice, comme s'il était amarré au point fixe. Pour déterminer, dans ce cas, l'effort au palier de butée, il faut considérer l'hélice comme une surface de peu d'épaisseur, se mouvant dans l'eau, et ayant, par suite, un coefficient de résistance égal à 60^{kg} (n° 40_2 du *Gd Traité*). En appliquant la formule $R = KB^2V^2$, on a alors :

$$P = 60f\,\frac{\pi D^2}{4}\,n^2H^2 = f\,\frac{\pi D^2N^2H^2}{4 \times 60};$$

ou

$$P = 0{,}013fD^2N^2H^2;$$

expression dans laquelle on représente par :

P l'effort au palier de butée en kilogrammes.
f la fraction de pas totale.
D le diamètre de l'hélice en mètres;
H le pas de l'hélice en mètres.
N le nombre de tours de la machine par minute.
n le nombre de tours par seconde $= \frac{N}{60}$.

55_6 Hélices jumelles. — Les hélices jumelles sont placées à droite et à gauche de l'étambot D, *fig.* 35, *pl.* VI, et leurs arbres sont dans des plans parallèles au plan longitudinal du navire. Pour chaque hélice, l'arbre A, qui est d'ailleurs recouvert d'une chemise, passe dans le tube en bronze B, qui traverse un massif ménagé dans la membrure du bâtiment. Ce tube porte le presse-étoupe *b* à son extrémité intérieure, et il est soutenu, sur l'arrière, par un deuxième manchon C également en bronze, fixé à la muraille du bâtiment, et faisant joint étanche autour du tube B. — Un support en bronze E, fixé par deux pattes sur la muraille du bâtiment, porte le palier extérieur *e* garni de languettes de gaïac, et qui est le dernier point d'appui de l'arbre. L'hélice est emmanchée et clavetée sur l'arbre immédiatement après le palier *e*. — Les deux arbres d'hélice sont à égale distance du plan longitudinal du navire. Fig. 3 Pl. VI.

Sur la *fig.* 35, l'hélice de tribord tourne à gauche pour la marche avant, et celle de babord à droite. Le contraire peut avoir lieu. Sur quelques petits bâtiments, il existe deux étambots, placés dans les positions des arbres A, *fig.* 35, *pl.* VI, munis chacun d'un gouvernail. La partie arrière, comprise entre les deux étambots, se relève en plan incliné, de manière à donner à l'eau un dégagement facile. Cette disposition n'est pas avantageuse au point de vue de la vitesse; elle présente seulement quelques avantages au point de vue de l'évolution, à cause de l'action plus directe de l'hélice sur le gouvernail.

Dans la marine française, quelques gardes-côtes, des avisos, de petites cannonières, une corvette et un vaisseau cuirassés sont munis d'hélices jumelles. On en rencontre également dans la marine anglaise. Cette disposition n'est pas recommandable en principe. Elle nécessite naturellement deux machines distinctes, ce qui est une complication fâcheuse, tant au point de vue de la construction qu'au point de vue de la conduite de l'appareil moteur.

Les hélices jumelles conviennent aux bâtiments ayant un faible tirant d'eau et munis de machines puissantes; elles peuvent, dans certains cas, faciliter l'évolution et faire tourner le navire sur place. Par contre, elles sont très-exposées, soit à l'action du boulet, soit à l'action de l'éperon; elles sont d'ailleurs plus exposées qu'une seule hélice à être engagées par les débris du gréement; de plus, leur action est moins directe sur le gouvernail que celle d'une hélice unique, ce qui oblige à donner à la barre une plus grande inclinaison.

Il résulte d'expériences faites sur le *Boule-Dogue*, garde côte-cuirassé, que l'évolution se fait presque sur place, lorsque le bâtiment étant stoppé, on fait fonctionner l'une des machines en avant et l'autre en arrière. C'est sans contredit un très-grand avantage pour ce genre de bâtiments, qui est destiné à

se mouvoir sur les côtes, dans des espaces relativement étroits. Mais lorsque le bâtiment a de la vitesse, l'on ne gagne rien à stopper la machine du bord sur lequel on veut venir; en manœuvrant ainsi, la vitesse diminue notablement, mais la durée de l'évolution et le diamètre du cercle décrit ne sont pas sensiblement réduits. Si la machine du bord sur lequel on veut venir est mise en arrière, le bâtiment décrit une espèce de spirale et finit par tourner sur place. — La diminution de vitesse qui résulte de la suppression de fonctionnement de l'une des machines ou de sa mise en marche en arrière, peut être utilisée dans certaines circonstances de navigation sur les côtes; mais elle produirait des résultats désastreux dans un combat d'escadres, d'autant plus que l'on ne gagne rien, ni sur la durée de l'évolution ni sur le diamètre du cercle décrit. Les bâtiments d'une escadre qui manœuvreraient de la sorte, seraient exposés à recevoir le choc d'un ennemi animé d'une grande vitesse, avant qu'ils aient pu reprendre la leur; ils joueraient ainsi le rôle d'une muraille devant un boulet. Pour un bâtiment isolé, la facilité d'évolutions permettra au navire qui a deux hélices de se tenir dans le cercle mort de son ennemi et d'éviter momentanément le choc, en se ménageant la possibilité de le donner; mais il perdra toujours l'avantage que lui donnerait toute sa vitesse. Néanmoins, les hélices jumelles peuvent être utiles dans cette circonstance d'un combat singulier; mais c'est le seul cas.

L'emploi des hélices jumelles n'est pas sans inconvénients pour la navigation courante. On a remarqué, en effet, pendant les essais du *Cerbère*, que le bâtiment gouvernait mal et faisait des embardées considérables atteignant souvent deux quarts. Indépendamment de l'inégalité d'action des deux machines, le bâtiment n'obéissait sensiblement à l'action de son gouvernail que lorsque ce dernier faisait un angle d'au moins quinze degrés avec la quille. De plus, pour gouverner en route, on était constamment obligé de porter la barre près de sa position limite, tantôt d'un bord tantôt de l'autre. Enfin, on a remarqué que, malgré l'absence de compensation du gouvernail, la barre laissée libre ne se redressait pas naturellement; elle exigeait au contraire, même aux grandes vitesses, un effort assez considérable pour être ramenée dans le plan longitudinal.

Ces divers inconvénients ont été attribués à ce que le gouvernail, dans sa position normale ou légèrement incliné sur le plan longitudinal, se trouvait dans un remous produit par l'action latérale des hélices, et que son effet ne pouvait devenir sensible que lorsque, par suite d'une grande inclinaison, l'extrémité arrière du safran venait se présenter dans le courant d'eau lancé vers l'arrière, par l'une des hélices. — Il a d'ailleurs été reconnu que l'augmentation du tirant d'eau était sans influence sur la manière de gouverner des bâtiments.

Le gouvernail ordinaire ayant été remplacé par un gouvernail compensé à deux lames, système *Joëssel*, les inconvénients ci-dessus ont presque disparu. Mais il importe de noter qu'ils se sont reproduits sur le *Richelieu*, à sa première sortie, avec le gouvernail compensé. Dès que la barre avait dépassé une certaine inclinaison, le mouvement se continuait de lui-même, sous l'action des hélices, et malgré la résistance des hommes de barre. Ce défaut a été corrigé par une diminution du diamètre des hélices; il aurait été évité si les hélices avaient été portées d'une plus grande quantité sur l'avant; mais cette position les aurait rendues plus vulnérables.

Même avec un gouvernail compensé, les hélices jumelles font naître de grandes difficultés pour gouverner en route, soit à cause de l'inégalité de la vitesse de rotation des deux machines, soit à cause des différences d'immersion des hélices quand il y a de la mer ou quand le bâtiment est à la bande. Lorsqu'une hélice est profondément immergée, le navire vient du bord opposé avant que le gouvernail ait pu contrarier cette évolution ; puis lorsqu'il est sur le point de revenir en route, un coup de roulis en sens contraire vient déjouer toutes les précautions que l'on peut avoir prises. — Toutefois, nous devons signaler un avantage des hélices jumelles qui n'est pas sans importance ; c'est qu'elles permettent de fonctionner à moyenne vitesse avec la moitié des feux, en n'employant que l'un des deux propulseurs. Les refroidissements de la vapeur dans le moteur, sont alors bien moins considérables que lorsque l'appareil moteur complet fonctionne pour la même vitesse, et il en résulte une économie de combustible. Le seul inconvénient de ce mode de fonctionnement consiste en ce qu'il faut toujours avoir un peu de barre du bord opposé à celui du propulseur qui est en marche.

En résumé, les hélices jumelles ne conviennent pas aux bâtiments destinés à combattre en escadre. Leur nombre n'est pas une sécurité, car les chances d'avaries sont augmentées dans de plus grandes proportions. Une hélice unique, bien abritée sous les formes de l'arrière est préférable à tous égards. La petitesse du tirant d'eau ne doit pas être un obstacle à l'installation d'une hélice unique, car avec les machines actuelles, et surtout avec celles qui comportent trois paires de cylindres bout à bout points morts à 120°, le couple de rotation est assez régulier pour que l'on puisse aborder de très-grandes vitesses, même avec les appareils puissants.

N° 55_6 Evolueurs mécaniques. — Pour acquérir toutes les qualités de marche qu'il possède, le navire à vapeur à dû se dépouiller en grande partie des voiles carrées dont les inconvénients étaient pour lui plus grands que les avantages. Or, cette voilure était un puissant moyen d'évolution, agissant efficacement dans tous les cas, sauf par calme, et venant en aide au gouvernail pour accélérer et accomplir l'évolution voulue. En perdant ce moyen puissant d'évolution sans le remplacer par un autre, le navire à vapeur devait se trouver, et se trouve en effet, dans l'impossibilité d'opérer, dans les mêmes conditions d'espace et de temps, les évolutions que le navire à voile accomplit rapidement et presque sur place. Et cependant on exige des cuirassés une aussi grande rapidité d'évolution que par le passé. Pour obtenir ce résultat, on a été forcé d'exagérer la taille des gouvernails, ou d'augmenter leur action évolutive en les faisant à plusieurs lames, toutes conditions qui les rendent plus difficiles à manœuvrer, au moins pour ceux qui ne sont pas compensés ; mais qui dans tous les cas les rendent compromettants pour la solidité de l'arrière par gros temps. C'est en présence de ces difficultés que se sont présentées successivement les idées de réformes.

On a cherché à remédier aux inconvénients dont il vient d'être question par l'installation d'appareils évolueurs. Le seul système réellement pratique qui ait été appliqué jusqu'à ce jour, est celui de l'emploi de deux hélices indépen-

dantes comme propulseur. Nous venons de dire qu'on peut, en effet, avec ces deux hélices, faire tourner le bâtiment sur place lorsqu'il n'a pas de vitesse, en faisant fonctionner l'un des propulseurs en avant et l'autre en arrière. Si le bâtiment a de la vitesse, l'hélice du bord sur lequel on abat étant stoppée ou marchant en arrière, le cercle d'évolution est peu diminué dans le premier cas ; et dans le second, le bâtiment décrit une spirale et finit par tourner sur place. Cette ressource est précieuse près des côtes; mais en haute mer, l'inconvénient qui en résulte, au point de vue de l'attaque comme de la défense, est la diminution de vitesse qui place le bâtiment dans des conditions d'infériorité très-fâcheuses. — Le système des propulseurs hydrauliques (n° 56_1), agit exactement, au point de vue des évolutions, comme les hélices jumelles.

Il y aurait donc grand intérêt, à faciliter l'évolution du bâtiment tout en lui conservant sa vitesse. C'est dans ce but que l'on a imaginé de petits propulseurs auxiliaires, agissant sur les ailes, normalement à la route, en conservant au propulseur ordinaire toute son action dans le sens de la marche. C'est M. *Paris* qui a émis le premier l'idée de ce système. Cette idée a été reprise depuis par M. *de Montagu*, mais n'a pas reçu, que nous sachions, d'application sérieuse. Voici en quoi consiste cette disposition. Le contre-étambot est percé perpendiculairement au plan longitudinal, au-dessous de l'arbre de l'hélice propulseur, pour recevoir l'hélice évolueur, dont l'arbre est supporté par des traverses fixées aux flancs du bâtiment. Un puits est pratiqué au-dessus du logement de l'évolueur pour laisser passer deux bielles qui s'articulent sur deux coudes à angle droit de l'arbre de cet évolueur. Ces bielles reçoivent leur mouvement de l'arbre moteur d'une petite machine à pilon à deux cylindres, placée directement au-dessus. Cette machine peut tourner à volonté dans un sens ou dans l'autre, et le propulseur peut agir pour faire abattre sur tribord ou sur babord. Le mouvement de l'évolueur pourrait être pris sur l'arbre de l'hélice au moyen d'un système de transmission par cônes de frottement ; mais il serait mieux de le laisser indépendant, afin que cet évolueur puisse agir sans que l'on soit obligé de donner de la vitesse au bâtiment.

Le système des constructions en fer permet certainement de donner à l'arrière du bâtiment une solidité suffisante pour l'installation dont il s'agit; mais cette installation n'est pas favorable à la vitesse, et exige d'ailleurs, pour être complète, l'adjonction d'une machine auxiliaire dont la puissance devrait être égale à un dixième au moins de celle de l'appareil moteur, et qu'il faut d'ailleurs monter dans une position très-défavorable, eu égard à l'action de son poids, sur la partie arrière du bâtiment dont le déplacement est déjà très-faible.

On a aussi proposé de faire servir le propulseur lui-même comme évolueur, au moyen d'une installation permettant de changer la direction de son axe, et par suite la direction de la poussée qu'il imprime au bâtiment. Cette disposition n'a encore été essayée que sur des canots, où elle a d'ailleurs donné de bons résultats.

L'hélice serait placée sur l'arrière du gouvernail, celui-ci étant coupé pour le passage de l'arbre, et portant un palier pour supporter ce dernier. L'arbre porte-hélice serait relié à celui qui traverse le tube d'étambot au moyen d'un joint à rotule, et le propulseur s'inclinant en même temps que le gouvernail,

agirait puissamment pour l'évolution. Ce système, applicable à la rigueur sur des canots, manque de solidité lorsqu'il s'agit de machines puissantes. D'autre part le renouvellement de l'eau actionnée par le propulseur se ferait beaucoup plus facilement; mais le propulseur ne serait plus à l'abri, ce qui est un inconvénient majeur. D'un autre côté, il est douteux qu'avec ce système, on puisse tenir aisément le bâtiment en route, la moindre inclinaison du gouvernail devant produire un couple d'évolution considérable.

Le problème de l'installation pratique d'un évolueur agissant sur le bâtiment tout en lui conservant sa vitesse, n'est pas encore résolu d'une manière pleinement satisfaisante. Il reste à combiner la propulsion héliçoïdale avec l'action évolutive produite par les propulseurs hydrauliques. C'est ce qu'a proposé M. *R. Boucher*, lieutenant de vaisseau, dans un mémoire très-étudié, inséré en partie dans la revue maritime, en 1874. Voici en quoi consiste le système. Le bâtiment étant muni comme à l'ordinaire, de son hélice propulsive et de son gouvernail, serait percé sur l'arrière, de deux canaux arrondis, débouchant sous les formes presque normalement à la route, et se réunissant en un seul canal central placé dans l'axe du bâtiment. Au point de jonction se trouverait une vanne mue par un axe vertical, et permettant soit de maintenir la communication du canal central avec les deux canaux latéraux, soit de l'établir à volonté avec chacun d'eux en particulier. Une pompe rotative Behrens mue par un moteur du même système, refoulerait de l'eau dans le canal central, et de là, suivant la position de la vanne, dans l'un ou l'autre des deux canaux latéraux. De la réaction produite par l'écoulement résulterait un couple d'évolution qui viendrait en aide à l'action du gouvernail, sans que l'évolueur occasionne une perte de vitesse. La prise d'eau et les orifices de sortie devraient naturellement être munis de vannes de sûreté permettant de visiter la pompe et d'effectuer les réparations qui pourraient être nécessaires.

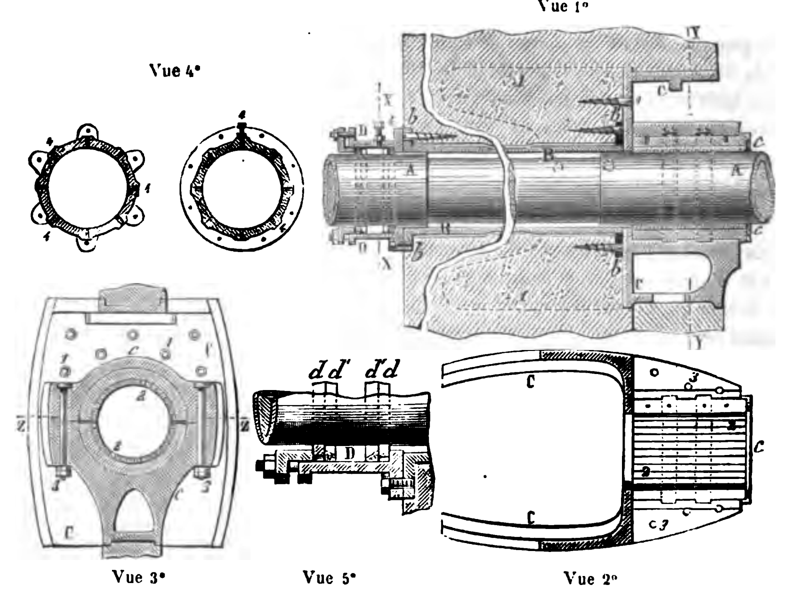
En prenant pour termes de comparaison les résultats de propulsion obtenus sur le *Waterwitch*, M. *Boucher* a calculé que l'évolueur absorberait au maximum les 0,4 de la puissance totale de l'appareil moteur; c'est-à-dire qu'en maintenant le gouvernail droit, la vitesse du bâtiment, en admettant qu'il n'y ait pas de chaudières spéciales pour l'évolueur, serait sensiblement égale à la vitesse de route multipliée par $\sqrt[3]{0,6}$, soit par 0,84. Or il résulte de nombreuses expériences de giration, que l'action du gouvernail fait perdre de 0,25 à 0,30 de la vitesse initiale, c'est-à-dire que l'évolution s'accomplit avec les 0,70 à 0,75 de cette vitesse. Il y a donc avantage en faveur de l'évolueur. Si l'action du gouvernail s'ajoute à celle de l'évolueur, un navire qui ferait son évolution complète dans $5^m 30^s$ avec le gouvernail seul, arriverait à faire cette même évolution en 4^m, temps maximum.

Un évolueur mécanique pourrait avoir son action en partie paralysée par la vitesse avec laquelle l'eau fuit le long du bâtiment, ce qui ne permettrait pas un renouvellement suffisant de l'eau sur laquelle cet évolueur doit agir. L'évolueur hydraulique prenant l'eau près de la quille, dans l'intérieur du bâtiment, n'aura pas son rendement diminué si le tuyautage est convenablement installé; et la vitesse de l'eau le long du navire créant une résistance à la sortie, l'action propulsive en sera augmentée, la pompe étant du système Behrens, pourvu

que son moteur soit suffisamment puissant. L'évolueur hydraulique a sur tous les autres systèmes, l'avantage d'une invulnérabilité absolue dans un tir d'artillerie ou dans un abordage. Il peut suppléer le gouvernail, ce qui est précieux dans un combat, le gouvernail étant presque toujours très-exposé. Enfin, avec la disposition dont nous avons parlé, l'eau pouvant se déverser dans les deux canaux à la fois, l'évolueur hydraulique de M. *Boucher* constitue une puissante machine d'épuisement de cale, tout en restant disponible pour la manœuvre du bâtiment; il suffit de l'installation d'une prise d'eau spéciale à la cale.

N° 55_7 Dispositions diverses relatives à l'installation des hélices à l'arrière et aux organes de la ligne d'arbres. — Actuellement, presque toutes les hélices sont en porte-à-faux à l'extrémité de leur arbre, qui est supporté par le palier de butée et par le palier d'étambot. En France, beaucoup de bâtiments munis du gouvernail compensé, système *Joëssel*, n'ont même plus d'étambot arrière; l'axe du gouvernail occupe la place de cet étambot. La *fig.* 31

Fig. 31. Disposition actuelle de l'arbre porte-hélice.



représente une des dernières dispositions adoptées par l'usine d'*Indret* pour l'installation de l'arbre porte-hélice. Voici la légende de cette figure :

Vue 1°. Coupe verticale par l'axe de l'arbre.
Vue 2°. Coupe horizontale de l'armature d'étambot, suivant ZZ de la *vue* 3°.

Vue 3°. Coupe perpendiculaire à l'axe de l'arbre suivant YY de la *vue* 1°.
Vue 4°. Coupe verticale dans le presse-étoupe suivant XX de la *vue* 1°, avec double rabattement : l'un à droite, l'autre à gauche.
Vue 5°. Coupe verticale à grande échelle, du presse-étoupe de l'arbre porte-hélice.

A Arbre porte-hélice, supporté à l'intérieur par le palier de butée, et à l'extérieur par le palier arrière *c*, faisant partie de l'armature de l'étambot.
B Tube d'étambot; long manchon en bronze portant une collerette intérieure *b* qui sert à le fixer sur le massif arrière au moyen de vis à bois. A l'extérieur, le tube d'étambot est calfaté dans son logement, et reçoit une rondelle *b'* sur laquelle il est rivé. Cette rondelle *b'* est également fixée au moyen de vis à bois.
C Armature de l'étambot; forte pièce en bronze, ajustée sur l'étambot, et fixée par des vis à bois ou des chevilles, au moyen des bras 1, 1.
c Palier arrière de l'arbre porte-hélice, formé par l'armature d'étambot. Les coussinets de ce palier sont garnis de languettes de gaïac 2, 2 ajustées dans le sens de l'axe, et sur lesquelles l'arbre frotte. Le serrage s'effectue par six boulons 3, 3 ayant les écrous en dessous, et qui sont d'ailleurs munis de contre-écrous pour former frein.
D Presse-étoupe de l'arbre porte-hélice, fixé au moyen de goujons sur la collerette *b* du tube d'étambot. Cet organe a reçu quelques modifications très-heureuses; voici en quoi elles consistent : le fond de la boîte à étoupe est percé à un diamètre plus grand que celui de l'arbre, et reçoit d'abord une rondelle plate *d*, ajustée sur l'arbre, mais d'un diamètre extérieur plus petit que celui de la boîte à étoupe; par dessus cette rondelle s'en place une seconde *d'*, à gorge, dont le diamètre extérieur est celui de la boîte à étoupe et dont le diamètre intérieur est plus grand que celui de l'arbre. Sur l'avant, la disposition est la même, les rondelles *d'* et *d* étant placées dans un ordre inverse; enfin le chapeau de presse-étoupe a un diamètre intérieur plus grand que celui de l'arbre. L'ensemble de ces dispositions a pour but de permettre à l'arbre de jouer dans son presse-étoupe sans forcer sur la boîte. — Les vis 4, 4 servent à coincer les tresses du fond et à les maintenir en place, lorsqu'il y a lieu de recharger le presse-étoupe, le navire étant à flot.

La disposition de l'arbre porte-hélice adoptée par l'usine d'*Indret*, et dont il vient d'être question, est très-avantageuse. L'arbre est complètement indépendant de son presse-étoupe ainsi que du tube d'étambot; de plus, l'usure du palier de butée et du palier arrière, ainsi que les petites dénivellations produites par la fatigue du bâtiment, ne peuvent avoir aucun mauvais effet sur le presse-étoupe, en raison de la mobilité de ses bagues et du jeu de l'arbre dans le chapeau.

L'arbre porte-hélice est préservé de l'oxydation par un manchon dont le métal n'est pas attaqué par l'eau de mer. Ce manchon était autrefois uue simple chemise de bronze mise à chaud sur toute la longueur de l'arbre, depuis l'emmanchement de ce dernier sur l'hélice, jusqu'un peu en avant du presse-étoupe, et maintenu par des vis à tête fraisée et perdue dans l'épaisseur de la chemise. — Les difficultés de mise en place ont fait renoncer à ce système; actuellement, le manchon de l'arbre de l'hélice est en trois parties : les deux parties extrêmes, en bronze, sont mises à chaud sur des portées *a*, *b* de l'arbre *fig.* 4, *pl.* VIII, d'un diamètre un peu plus grand que celui du reste du

corps, et correspondant au palier extérieur de l'arrière d'une part, et au passage dans le presse-étoupe d'autre part. — Dans la partie *c*, comprise entre les deux manchons en bronze, l'arbre est recouvert par l'un des trois moyens suivants :

Fig. 4, Pl. VIII.

La *vue* 1° représente un manchon en cuivre rouge, d'un diamètre intérieur plus grand que celui des portées de l'arbre, afin que sa mise en place s'effectue facilement, et les deux extrémités de ce manchon en cuivre sont rétreintes presque au diamètre des portées, pour venir s'engager dans des fraisures intérieures pratiquées sur les manchons en bronze, ces derniers étant naturellement mis en place après le manchon en cuivre. — Ces trois manchons sont soudés deux à deux l'un sur l'autre avec de l'étain, et le manchon en cuivre est rempli de brai.

La *vue* 2° représente un manchon en cuivre, fixé sur l'arbre par des vis à tête fraisée et noyée. Les bords du manchon sont ensuite soudés à l'étain; on fait également des soudures à l'étain aux points du contact de ce manchon en cuivre avec chacun des manchons en bronze.

La *vue* 3° représente un revêtement d'antifriction coulé sur l'arbre, dans un moule de fonderie; ce revêtement fait joint étanche par ses deux extrémités, sur les manchons en bronze des portées de l'arbre.

Ligne d'arbres. — Afin de remédier aux dénivellations qui peuvent résulter de la fatigue du bâtiment, toutes les lignes d'arbres comportent actuellement, un tronçon faisant suite à l'arbre moteur, qui ne s'appuie sur aucun palier; ce tronçon est suspendu au moyen de deux joints à la cardan, qui le relient à l'arbre moteur et au tronçon suivant de la ligne d'arbres. Cette ligne d'arbres ne comporte par suite que trois paliers : deux pour le deuxième tronçon qui porte le système d'embrayage, et le troisième qui est le palier de butée, pour l'arbre porte-hélice. La *fig.* 32 représente une des dernières installations faites par les *forges et chantiers de la Méditerranée*, et appliquées sur le *Tourville*. Voici la légende de cette figure :

Vue 1°. Coupe verticale du bâtiment et élévation de la ligne d'arbres.
Vue 2°. Coupe horizontale du bâtiment et plan de la ligne d'arbres.

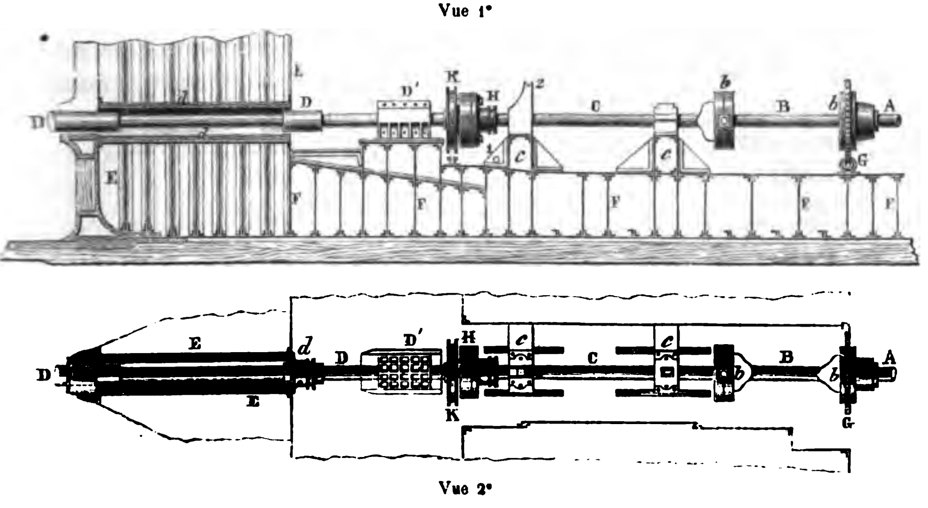
A extrémité de l'arbre moteur, portant une mâchoire de joint à la cardan.
B premier tronçon de la ligne d'arbres, en porte-à-faux, et relié à l'arbre moteur A et au tronçon suivant C, par les deux joints à la cardan *b*, *b*.
C deuxième tronçon de la ligne d'arbres, porté par deux paliers *c*, *c*.
D arbre porte-hélice, traversant le presse-étoupe *d*, et supporté, à l'intérieur, par le palier de butée D', et à l'extérieur par le palier d'étambot.
D' palier de butée. Ce palier est fixe; il est représenté en détail par la *fig.* 33.
E massif arrière du bâtiment, traversé par l'arbre porte-hélice. Comme la membrure

du bâtiment est en fer, ce massif est traversé par deux manchons *d*, *d*; l'un extérieur, fait partie de la construction, le second intérieur, est le tube d'étambot proprement dit.

F carlingues en fer, sur lesquelles sont assis les divers paliers.


Fig. 32 — Installation d'une ligne d'arbres. Échelle 1/200.

Vue 1°



Vue 2°

G vireur monté sur l'anneau du premier joint à la cardan.

H embrayeur du système ordinaire, avec deux tourillons d'entraînement. L'axe d'oscillation du levier de manœuvre est en 1, au pied du palier *c*, et le point d'appui du palan ou de la vis de rappel est en 2, sur ce même palier.

tourteau du frein.

L'arbre B, qui est en porte-à-faux et qui est supporté par deux joints à la cardan, permet un bon fonctionnement quelles que soient es déformations du bâtiment.

Au lieu de l'arbre suspendu, l'usine d'*Indret* a installé sur le *Bruix*, un tronçon intermédiaire porté par deux paliers, et muni à chacune de ses extrémités d'un manchon venu de forge, et ayant un évidement cylindrique dont l'axe est perpendiculaire à celui de l'arbre. Le manchon est d'ailleurs muni, dans la direction de ce dernier axe, d'une entaille rectangulaire pour livrer passage au bout d'arbre du tronçon voisin. Ce bout d'arbre a deux pans coupés par lesquels se fait l'entraînement, les vides entre les pans coupés et l'évidement cylindrique du manchon étant remplis par deux cales de touche en bronze. Ce système de joint n'est autre chose qu'une machoire à demi-rotule. En cas de dénivellation, il peut y avoir glissement sur les faces de contact du bout d'arbre et des cales de touche, et oscillation de ces dernières dans l'évidement cylindrique du manchon. Ces deux mouvements se faisant dans des

directions perpendiculaires, permettent par leur combinaison, des mouvements de directions intermédiaires.

Les arbres sont généralement en fer; cependant on en construit quelques-uns en acier, dans le système tubulaire. Cette pratique est assez répandue en Angleterre, mais elle est très-peu usitée en France. Les arbres tubulaires sont plus volumineux, mais ils sont moins lourds que les arbres pleins de même résistance. L'emploi de l'acier n'est pas sans inconvénients pour la ligne d'arbres, car les trépidations rendent ce métal très-cassant.

Palier de butée. — Les paliers de butée sont généralement à collets et à tourillons. Le serrage se fait le plus souvent horizontalement. Dans les flasques qui portent les tourillons, sont logés des coussinets en bronze qui peuvent glisser dans des rainures verticales de ces flasques. La position de ces coussinets est variable au moyen d'un système de coins à vis qui permettent de les monter ou de les descendre pour rectifier la ligne d'arbres, suivant le besoin. Ce mouvement de l'arbre porte-hélice est rendu possible par la disposition du presse-étoupe dont nous avons parlé. — Lorsque le tube d'étambot n'est pas très-long et que la construction du bâtiment est en fer, on fait assez souvent le palier de butée fixe, parce que les dénivellations sont alors peu à craindre. La *fig.* 33 représente la dernière installation adoptée par les *Forges et chantiers de la Méditerranée*, pour le croiseur le *Tourville*. Voici la légende de cette figure:

Vue 1°. Mi-élévation et mi-coupe suivant XX de la *vue* 2°.
Vue 2°. Mi-coupes suivant YY et ZZ de la *vue* 1°.

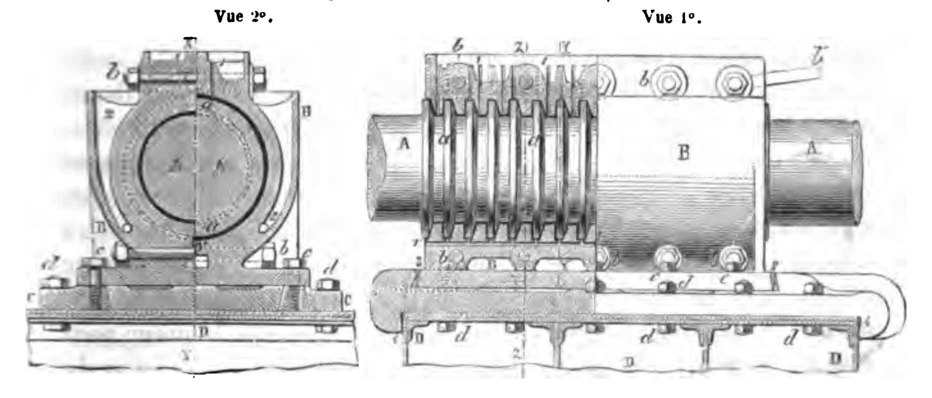
A arbre porte-hélice, muni de 16 collets de butée.
a collets de butée, coupés droits sur la face avant, et à pan incliné sur la face arrière.
B palier de butée en deux parties ; le serrage s'effectue horizontalement, et à juste-portée. Les cannelures de ce palier sont garnies d'antifriction.
b boulons de serrage du palier de butée.
b' tirants du palier de butée, fixés sur le massif arrière du bâtiment, et destinés à supporter une partie de l'effort de poussée.
1 auge pratiquée sur le sommet du palier de butée, et lumières de graissage, et, au besoin, d'arrosage de ce palier.
1' canal longitudinal pratiqué un peu au-dessous des cannelures de butée, et en communication avec ces cannelures par de petits canaux verticaux. Cette disposition a pour but de faciliter le dégagement de l'huile de graissage ou de l'eau d'arrosage, et surtout des impuretés qui peuvent se trouver dans le palier de butée.
2 cavités ménagées autour du palier de butée, pour entourer ce palier d'eau et l'empêcher de s'échauffer. L'eau s'écoule à la cale par les petits trous que l'on aperçoit dans le bas, sur la *vue* 2°.

C **plaque de fondation sur laquelle est monté le palier de butée. Cette plaque est en fonte.**

c **boulons de fixation du palier de butée sur sa plaque de fondation. Ces boulons pénètrent dans des écrous de forme trapézoïdale, ajustés dans des logements pratiqués sur la plaque,**

Fig. 33. — Palier de butée. Échelle 3/100.

Vue 2°. Vue 1°.



3 **clavettes trapézoïdales coinçant le palier de butée entre des talons ménagés aux extrémités avant et arrière de la plaque C.**

D **carlingue en fer, montée sur cornières et supportant le palier de butée.**

d **boulons de fixation de la plaque C sur la carlingue D.**

4 **clavettes trapézoïdales coinçant la plaque C sur la carlingue D, et insérées entre cette carlingue et des talons dont la plaque est munie.**

Ce palier de butée a supporté sans accidents, l'effort corespondant à une puissance de 7.000 chevaux indiqués sur les pistons.

Graissage. **— Le système de graissage de la ligne d'arbres ne présente rien de particulier, quant aux paliers ordinaires; le palier de butée, toujours garni d'antifriction, fonctionne généralement à l'eau et on ne rétablit le graissage à l'huile que quelques instants avant l'arrivée au mouillage, afin d'éviter l'oxydation pendant le repos. — Les tourillons des joints à la cardan sont lubrifiés d'une manière fort simple au moyen de l'installation représentée par la *fig.* 36, *pl.* VI et décrit au n° 53_5. A et A′ sont les deux bouts d'arbres reliés par le joint; B sont les fourches et *b* les tourillons. Sur l'un des bouts d'arbres, A′ par exemple, est capelé un tuyau en cuivre C, portant quatre tubulures *c* qui le fixent sur l'anneau du joint à la cardan. Les tubulures *c* correspondent à de petits canaux qui traversent l'anneau, et les coussinets des tourillons *b*, pour aboutir sur la surface de ces derniers. Un bouchon à vis placé sur le tuyau C, permet de mettre de l'huile dans ce dernier, la machine étant au repos. En marche, cette huile est ensuite projetée par la force centrifuge dans les tubulures *c*, et arrive sur les tourillons qu'elle lubrifie. Dans beaucoup de lignes d'arbres, le tuyau C est ouvert à l'intérieur, sur toute sa longueur, ce qui permet de graisser en marche.**

Fig. 36, Pl. VI.

Vireur. — Avec les machines puissantes actuellement employées, le virage à froid devient d'une grande difficulté. Le système de vireur employé dans ces derniers temps par l'usine d'*Indret*, consiste en une double transmission de mouvement par engrenage droit et vis sans fin. Sur le premier joint à la cardan, à l'extrémité arrière de l'arbre moteur, se trouve montée une roue d'engrenage droit. Cette roue reçoit son mouvement d'un pignon inférieur dont l'axe est parallèle à celui de l'arbre. Sur l'axe de ce pignon est montée une grande roue à dents héliçoïdales, qui reçoit son mouvement de deux vis sans fin verticales, placées une de chaque côté de l'arbre. Ces vis sont actionnées par l'intermédiaire de roues d'angle, au moyen de volants dont les axes sont horizontaux. — L'arbre du pignon droit est supporté par deux coussinets glissants dans des rainures verticales et que l'on fait monter ou descendre au moyen de vis, suivant que l'on veut embrayer ou désembrayer le vireur. — Sur quelques grands appareils, le vireur peut être actionné par une petite machine à vapeur; la transmission de mouvement est toujours double : un engrenage droit et une vis sans fin, ou bien deux vis sans fin. Le système est d'ailleurs installé pour que l'on puisse virer à bras, soit au moyen de volants, soit au moyen de longues clefs à crochets.

Hélices à immersion variable. — Dans le but de permettre d'immerger davantage l'hélice, soit lorsque le bâtiment est lège, soit lorsqu'il affronte la mer debout, pour éviter l'émersion du propulseur, les Américains ont imaginé deux dispositions qui bien qu'appliquées sur des machines puissantes ne paraissent pas très-recommandables.

Avec l'une de ces dispositions appliquée sur le *Britannia*, paquebot de 6.000 chevaux indiqués, l'arbre de l'hélice peut prendre toutes les inclinaisons que l'on désire, à l'aide d'un joint universel à rotule placé dans l'intérieur, en avant du presse-étoupe. Ce dernier est formé d'une boîte dans laquelle peut osciller une sphère à tourillons placée sur l'arbre de l'hélice; cette sphère est munie d'un presse-étoupe. La boîte glisse d'une manière étanche, comme une vanne, dans un guide vertical. — L'hélice s'élève ou s'abaisse au moyen d'un palier mobile, glissant dans une rainure, et que l'on manœuvre à l'aide d'une crémaillère et d'une vis sans fin. Une large découpure est pratiquée dans le massif de l'étambot pour l'oscillation de l'arbre, et la cage de l'hélice est complètement ouverte en dessous, de sorte que les ailes du propulseur peuvent descendre plus bas que la quille. — La poussée de l'hélice se fait naturellement sur les tourillons du joint universel avant de se transmettre au palier de butée. — Cette disposition laisse beaucoup à désirer au point de vue de la solidité car l'arrière du bâtiment est très-découpé.

James N. Bodge, de *Nervark*, *nouvelle Jersey*, a fait une installation du même

genre, mais dans laquelle l'arbre de l'hélice est porté par un palier de butée à tourillons placé à l'extérieur ; cet arbre reçoit son mouvement de celui qui traverse le tube d'étambot, par l'intermédiaire d'une roue et de deux pignons d'angle. Le presse-étoupe n'est pas dans l'axe du bâtiment. Les deux étambots et une partie de la fausse quille sont en fer ; cette dernière est articulée à la hauteur du palier de butée ; l'étambot avant porte le deuxième palier de l'arbre de l'hélice. Le tout est monté ou descendu au moyen d'un mécanisme à engrenages et à vis sans fin. Cette disposition, comme la précédente, ne présente pas toute la solidité désirable.

N° 56. — 1. Des propulseurs hydrauliques en général. Historique succinct. — 2. Considérations générales sur les propulseurs hydrauliques. — 3. Résultats d'expériences des propulseurs hydrauliques de Ruthwen et de Cockerill. — 4. Avantages et inconvénients des propulseurs hydrauliques. —

N° 56_1 Des propulseurs hydrauliques en général. Historique succinct. — Le propulseur hydraulique consiste en une pompe rotative ou centrifuge, dont l'arbre est généralement vertical, dans l'axe du bâtiment, et qui est actionnée par la machine motrice. La prise d'eau de cette pompe est formée d'un grand nombre de trous percés dans la carène du bâtiment. L'eau qu'elle refoule se partage dans deux conduits qui vont, l'un à tribord, l'autre à babord, déboucher à l'extérieur, au-dessous de la flottaison. Chacun de ces tuyaux est terminé, sur la muraille du navire, par un raccord mobile disposé de telle sorte que l'axe de l'orifice de sortie soit parallèle au plan longitudinal du navire ; ils sont emmanchés sur les conduits à l'aide d'un joint glissant. Un pignon engrenant avec une couronne dentée, fixée sur le raccord, à l'intérieur du navire, permet de faire tourner l'axe de l'orifice de sortie dans un plan parallèle au plan longitudinal du bâtiment, de manière à pouvoir le diriger à volonté sur l'avant ou sur l'arrière. La réaction de l'eau refoulée par la pompe sur celle de la mer, produit la propulsion. Le navire marche en avant ou en arrière suivant l'orientation des deux orifices de sortie ; si l'un des orifices est tourné vers l'avant et l'autre vers l'arrière, le bâtiment abat sur le bord du premier.

L'idée de faire mouvoir les navires en expulsant de l'eau introduite à l'intérieur a été émise en 1661 par *Toogood* et *Huges*, et appliquée sans succès en 1788 par l'américain *Ramsey* et, postérieurement par plusieurs autres : *William Hale* en 1836 et *Robert Walker* en 1843, employaient tous deux une hélice à axe horizontal pour rejeter à l'extérieur l'eau introduite dans le

uavire, et imprimer à celui-ci le mouvement de locomotion.— En 1844, *Bodmer* p roposait de placer sous chaque hanche du navire, une sorte de pompe centrifuge à axe vertical, entourée d'un cylindre qui laissait une issue à l'eau dans le sens voulu pour le mouvement à imprimer. — En 1846, *Thomson* et *Wright* imaginaient de prendre l'eau à l'avant et de l'expulser à l'arrière au moyen de deux roues hydrauliques à axe vertical. — Enfin, en 1849, *Henri Bessemer* proposait d'employer dans le même but, une hélice à tambours du système *Ericcson.*

En France, des propositions et des essais du même genre faits successivement par des particuliers ou des ingénieurs civils, parmi lesquels il faut citer MM. *Edward* et *Rouen* frères, *Tellier* et *Coignard*, et enfin *Hervier*, n'avaient abouti à aucun résultat pratique. Ce dernier avait fait construire un petit bâteau mû par une turbine intérieure, à axe un peu oblique, aspirant l'eau par l'avant et la refoulant horizontalement, par des tuyaux, le long des faces latérales du gouvernail. Mais cette tentative, qui date de 1857 et qui, un instant, sembla promettre des résultats utiles, fut bientôt abandonnée. Citons encore M. *Cockerill* qui a fait figurer à l'exposition universelle de 1867, une grande embarcation à demi-pontée mue par la réaction de l'eau expulsée par une turbine à axe vertical placée au milieu de l'embarcation.

Le veritable promoteur des propulseurs hydrauliques, celui qui s'est occupé avec le plus de conviction et de persistance de l'application de ce mode de locomotion, dont l'idée n'existait guère qu'en germe dans les brevets de ses prédécesseurs, est M. *John Ruthwen, d'Edimbourg*, dont la patente remonte à 1839. Des propulseurs de son système furent expérimentés successivement sur les canonnières anglaises, le *Nautilus* et le *Waterwich.* La seule modification essentielle apportée par M. *Ruthwen* à son système primitif, concerne le mode d'échappement de l'eau. Elle était d'abord expulsée de chaque côté du bâtiment par un tuyau unique, coudé et mobile autour d'un axe transversal, de façon à permettre de diriger l'évacuation vers l'arrière ou vers l'avant, suivant le sens de la marche que l'on voulait imprimer au navire. Sur le *Waterwich*, l'échappement de l'eau s'opère par des tuyaux fixes, au nombre de deux de chaque bord, allant l'un vers l'avant, l'autre vers l'arrière, et c'est le jeu d'un gros robinet intérieur qui dirige l'eau expulsée par l'un ou l'autre de ces tuyaux, suivant le sens de la marche qu'il s'agit de produire.

N° 56, Considérations générales sur les propulseurs hydrauliques. — Parmi les dimensions du navire et du propulseur, celles qui jouent le plus grand rôle dans la locomotion sont les sections des veines fluides interceptées par le navire et le propulseur pendant la marche, ces veines étant supposées formées de filets tous parallèles à la direction que suit le bâtiment. Il est clair, en effet, que la résistance du navire dépend, en très grande partie, de sa maîtresse-section immergée. Il est clair aussi que, toutes choses égales d'ailleurs, plus sera faible la section de la veine d'eau interceptée par le propulseur, plus devra être considérable, pour le même sillage, la

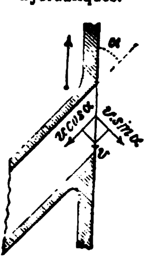
vitesse de l'eau projetée par rapport au milieu ambiant, et par conséquent de l'hélice ou de la turbine. Mais aussi, plus sera élevée la perte de travail due au recul, perte qui correspond à un travail nuisible employé à mouvoir les molécules du liquide ambiant, en même temps que celles incessamment déversées par le propulseur.

Il y a donc avantage à élever, autant que possible, le rapport de la section de la veine d'eau attaquée par le propulseur à la veine d'eau déplacée par le navire. Mais il est aisé de voir qu'à moins qu'il ne s'agisse de bâtiments d'un tirant d'eau extrêmement faible, on ne peut songer à donner aux tuyaux de décharge, à l'intérieur comme à l'extérieur du navire, des sections qui approchent de la somme des projections des ailes d'une hélice sur un plan normal à l'axe. En effet, la fraction de pas totale d'une hélice vaut en moyenne 0,25 ; et à égalité de surface poussante, le diamètre du tuyau de décharge du propulseur hydraulique devrait être la moitié du diamètre de l'hélice. Il est impossible de pratiquer de semblables orifices dans le bâtiment ; par suite, sur le bâtiment à propulseur hydraulique, le rapport précité demeure bien inférieur au rapport correspondant sur les bâtiments à hélice. L'infériorité de ce rapport est accompagnée d'une infériorité sensible d'utilisation, que l'on ne peut corriger par une augmentation de la vitesse de l'eau propulsive, parce que cette eau pénètre comme un coin dans le milieu ambiant de la mer, dès que la section de la veine fluide atteint une certaine petitesse. Il n'a pas été fait d'expériences pour déterminer le meilleur rapport à établir, pour un poids donné d'eau à rejetter par seconde, entre la section de l'orifice de sortie et la vitesse de cette eau, de manière à obtenir un recul minimum. Ce point important de la propulsion hydraulique n'étant pas élucidé, nous nous contenterons d'indiquer les conditions générales de fonctionnement de ce mode de propulsion et de déterminer le rendement. — Soient :

v en mètres, la vitesse du bâtiment dans une seconde.
B^2 la section immergée du maître-couple en mètres carrés.
V en mètres, la vitesse avec laquelle l'eau refoulée par la turbine sort du tuyau de décharge, abstraction faite de la vitesse du bâtiment.
V_1 en mètres, la vitesse tangentielle des palettes.
v_1 en mètres, la vitesse que la force centrifuge développée sur la masse d'eau que renferme la turbine est capable d'imprimer à l'eau, dans le cas où il n'y a pas d'aspiration.
α l'angle d'inclinaison du tuyau d'aspiration par rapport à l'axe horizontal du navire, cet angle étant compté de l'avant à l'arrière.
T le travail moteur sur l'arbre de la turbine en kilogrammètres.
P en kilogrammes, le poids de l'eau rejetée par la turbine dans une seconde:

Considérons la veine liquide qui pénètre dans le tuyau d'aspiration, *fig.* 34, et qui est animée, par rapport au bâtiment, d'une vitesse v. Cette vitesse peut se décomposer en deux autres : l'une $v \cos \alpha$, dans la direction de l'axe du tuyau; l'autre $v \sin \alpha$, normalement à cet axe, qui est annulée par la résistance des conduits. L'anéantissement de cette dernière composante de la vitesse correspond à une perte de travail égale à $\frac{P}{2g} v^2 \sin^2 \alpha$.

Fig. 34. Relative aux propulseurs hydrauliques.



Or, le travail $\frac{P}{2g} v^2 \cos^2 \alpha$ qui correspond à la composante suivant l'axe du tuyau, est aussi anéanti par la résistance de la turbine, car quel que soit le système de pompe employé, l'eau séjourne toujours un temps appréciable dans cet organe, et sa vitesse est détruite. — Remarquons que le travail total ainsi détruit a pour valeur :

$$\frac{P}{2g} v^2 \sin^2 \alpha + \frac{P}{2g} v^2 \cos^2 \alpha = \frac{P}{2g} v^2 \ (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha) = \frac{P}{2g} v^2.$$

Et cela, quelle que soit la valeur de α. C'est-à-dire que dans tous les cas, que l'eau soit prise sur l'avant, par le travers, ou sur l'arrière, il faut amener cette eau de l'état de repos à la vitesse v du bâtiment qu'elle prend dans la pompe, et commencer par dépenser le travail $\frac{P}{2g} v^2$. Nous verrons qu'il y a avantage à prendre l'eau sur l'avant.

Considérons d'abord que l'angle α peut varier de zéro à 180°. Par suite, la vitesse $v \cos \alpha$ d'introduction de l'eau dans le tuyau d'aspiration, varie depuis v jusqu'à zéro, cette dernière valeur correspondant à $\alpha = 90°$, et depuis zéro, jusqu'à v. Donc, depuis $\alpha = 0°$ jusqu'à $\alpha = 90°$, tout le travail $\frac{P}{2g} v^2$ est détruit par le bâtiment, et depuis $\alpha = 90°$ jusqu'à $\alpha = 180°$, il y a une action aspirante de la pompe qui va croissant avec α, de sorte que lorsque l'eau est prise directement sur l'arrière, le travail $\frac{P}{2g} v^2$ doit être fait directement par la pompe elle-même. Nous ne considérerons que les deux cas extrêmes : l'eau étant prise droit sur l'avant, $\alpha = 0°$, ou bien cette eau étant prise directement sur l'arrière, $\alpha = 180°$.

Si $\alpha = 0°$, l'action aspirante de la turbine est nulle, et cette turbine fait un travail utile égal à $\frac{P}{2g} V_1^2$, dû à la vitesse tangentielle des palettes, augmenté du travail $\frac{P}{2g} v_1^2$ dû à l'action centrifuge, soit un travail total égal à $\frac{P}{2g} (V^2_1 + v_1^2)$. Le coefficient de rendement de la turbine vaut alors :

$$\left.\begin{array}{l}\text{Coefficient de rendement de} \\ \text{la turbine pour } \alpha = 0°\end{array}\right\} u_1 = \frac{P}{2gT} (V_1^2 + v_1^2).$$

La vitesse V avec laquelle l'eau s'échappe du tuyau de décharge, et abstraction faite du frottement dans ce tuyau, est telle que :

$$\frac{P}{2g}V^2 = u_1 T.$$

Des deux égalités ci-dessus on tire :

$$V^2 = V_1^2 + v_1^2.$$

Si α vaut 180°, le travail utile de la turbine est égal à $\frac{P}{2g}(V_1^2 + v_1^2$, diminué du travail d'aspiration $\frac{P}{2g}v^2$, et vaut seulement $\frac{P}{2g}(V_1^2 + v_1^2 - v^2)$. On a alors pour coefficient de rendement de cette turbine :

$$\left.\begin{array}{l}\text{Coefficient de rendement de}\\ \text{la turbine pour } \alpha = 180^\circ\end{array}\right\} u_2 = \frac{P}{2gT}(V_1^2 + v_1^2 - v^2).$$

La vitesse V avec laquelle l'eau s'écoule par le tuyau de décharge et abstraction faite des frottements dans ce tuyau, est telle que :

$$\frac{P}{2g}V^2 = u_2 T.$$

Les deux dernières égalités donnent :

$$V^2 = V_1^2 + v_1^2 - v^2.$$

L'eau refoulée par la pompe avec une vitesse V mesurée au tuyau de décharge, possède une force vive $\frac{P}{g}V^2$; mais le bâtiment l'entraîne dans sa marche en même temps que la pompe, avec une vitesse v qui correspond à une force vive de direction contraire à la première égale à $\frac{P}{g}v^2$; la force vive avec laquelle l'eau propulsive se précipite dans le milieu ambiant de la mer vaut par suite : $\frac{P}{g}(V^2 - v^2)$, ce qui représente un travail propulsif égal à : $\frac{P}{2g}(V^2 - v^2)$.

Si l'eau est prise sur l'arrière, il n'y a rien à retrancher de ce travail; tandis que si elle est prise sur l'avant, il faut retrancher le travail $\frac{P}{2g}v^2$ détruit par le bâtiment. On a alors pour travail propulsif, en remplaçant V^2 par ses valeurs ci-dessus, suivant que α vaut 0° ou 180° :

$$\left.\begin{array}{r}\text{Travail propulsif}\\ \text{pour } \alpha = 0^\circ \,..\end{array}\right\} = \frac{P}{2g}(V_1^2 + v_1^2 - v^2).$$

$$\left.\begin{array}{r}\text{Travail propulsif}\\ \text{pour } \alpha = 180^\circ\end{array}\right\} = \frac{P}{2g}(V_1^2 + v_1^2 - 2v^2).$$

En comparant ces deux résultats, on voit que lorsque l'eau est prise sur l'arrière, le travail propulsif est moindre que lorsqu'elle est prise sur l'avant, de toute la quantité $\frac{P}{2g}v^2$ nécessitée pour l'introduction de l'eau dans la turbine.

Le travail utile de la propulsion étant KB^2v^3, le rendement propulsif vaut :

$$\text{Rendement propulsif pour } \alpha = 0^\circ \quad u'_1 = \frac{2gKB^2v^3}{P(V_1^2 + v_1^2 - v^2)}.$$

$$\text{Rendement propulsif pour } \alpha = 180^\circ \quad u'_2 = \frac{2gKB^2v^3}{P(V_1^2 + v_1^2 - 2v^2)}.$$

Enfin le rendement total de l'ensemble du propulseur vaut :

$$\text{Rendement total de l'ensemble du propulseur} \quad U = \frac{KB^2v^3}{T},$$

Il importe de remarquer que le coefficient total de rendement U de l'ensemble du propulseur, n'est pas égal aux produits $u_1u'_1$, $u_2u'_2$; il est plus petit que chacun de ces produits; en effet, on a :

$$\text{pour } \alpha = 0^\circ, \; u_1u'_1 = U \times \frac{1}{1 - \dfrac{v^2}{V_1^2 + v_1^2}}$$

$$\text{pour } \alpha = 180^\circ, \; u_2u'_2 = U \times \frac{1}{1 - \dfrac{v^2}{V_1^2 + v_1^2 - v^2}}.$$

Pour le premier cas, $\alpha = 0^\circ$, l'excès de $u_1u'_1$ sur U, correspond à la perte due à ce que le travail propulsif est inférieur au travail utile de la turbine de toute la quantité $\frac{P}{2g}v^2$, travail anéanti par le bâtiment. — Pour le second cas, $\alpha = 180^\circ$, l'excès de $u_2u'_2$ sur U, correspond à la perte de travail $\frac{P}{2g}v^2$ anéanti par la turbine divisé par le coefficient de rendement de cette turbine.

Ceci dit, les coefficients de rendement u_1, u'_1, u_2, u'_2, sont d'un intérêt secondaire. Il n'y aurait lieu de s'en occuper, pour chercher à les rendre maximum, que dans le cas où U aurait une valeur convenable. Or ce coefficient est extrêmement faible, ainsi que le montrent les résultats d'expériences dont il est question à l'article suivant.

N° 56_3 Résultats d'expériences sur les propulseurs hydrauliques Ruthwen et Cockerill. — Le propulseur hydraulique *Ruthwen* a été installé sur le *Waterwitch*, canonnière cuirassée anglaise, construite spécialement en vue de ce propulseur. Le bâtiment a les fonds très-plats, mais les extrémités sont très-fines et entièrement pareilles. Chacune de ces extrémités est terminée par une saillie en forme d'éperon ; elle est munie d'un gouvernail dont le logement est découpé dans le massif même de cet éperon, au-dessous de la flottaison. Le bâtiment peut, par suite, gouverner également bien dans les deux sens et donner le choc par l'une quelconque de ses extrémités. — La machine comporte trois cylindres horizontaux dans le même plan, et placés à 120° autour de l'axe vertical de la turbine que leurs bielles actionnent au moyen d'un coude unique. La turbine est dans une caisse cylindrique en fer; elle aspire l'eau en dessous, par un canal qui communique avec une partie du fond du bâtiment percée d'un grand nombre de trous. Deux

tuyaux d'évacuation servent à l'expulsion de l'eau; l'un traverse la muraille à babord, l'autre à tribord. Chacun de ces tuyaux est muni d'un gros robinet à deux voies, permettant de rejeter l'eau soit sur l'arrière, soit sur l'avant, au moyen de deux tuyaux de décharge placés sur les flancs du navire. Ces tuyaux ne sont pas suffisamment immergés pour être à l'abri du choc et peuvent même être découverts dans un fort roulis, ce qui est un grand inconvénient.

Le *Waterwitch* a été essayé concurremment avec deux autres canonnières de même taille, le *Viper* et le *Vixen*, munies chacune de deux hélices, mais présentant ce grave défaut, au point de vue de l'utilisation, qu'à chacune de ces hélices correspond un étambot. La résistance de ces deux navires doit par suite être considérable, tandis que celle du *Waterwitch* doit être relativement faible en raison de la finesse de ses extrémités. Il nous paraît que, pour avoir une idée exacte de la valeur des propulseurs hydrauliques, il aurait fallu comparer le *Waterwitch* avec un bâtiment muni d'une seule hélice fonctionnant dans de bonnes conditions; c'est ce que nous ferons en prenant pour terme de comparaison le *Talisman* [tableaux B et B (suite)], qui a le même déplacement que le *Waterwitch*. Voici les résultats des essais.

DÉSIGNATION.	WATERWITCH.		VIPER.		VIXEN.	TALISMAN.
	Tous les feux allumés.	Avec la moitié des feux.	Tous les feux allumés.	Avec la moitié des feux.	Tous les feux allumés.	Tous les feux allumés.
Section immergée du maître-couple. . . . . B^2	$31^{m.c},85$		$28^{m.c},73$		$31^{m.c},06$	$32^{m.c},21$
Déplacement en tonneaux. .	1.269^{tx}		1.072^{tx}		1.200^{tx}	1.264^{tx}
Puissance indiquée en chevaux de 75^{km}. . . . . F	828^{ch}	228^{ch}	707^{ch}	378^{ch}	740^{ch}	804^{ch}
Vitesse en nœuds à l'heure. V	$9^{n},121$	$5^{n},898$	$9^{n},168$	$7^{n},622$	$8^{n},894$	$12^{n},380$
Vitesse en mètres par seconde. v	$4^{m},742$	$3^{m},083$	$4^{m},712$	$3^{m},918$	$4^{m},572$	$6^{m},363$
Nombre de tours de la machine et des propulseurs par minute.	$41^{t},68$	$26^{t},53$	$110^{t},00$	$89^{t},12$	$110^{t},30$	$79^{t},10$
Propulseur. espèce. . . .	hydraulique.		2 hélices		2 hélices	1 hélice ordinaire.
Propulseur. diamètre. . .	$4^{m},270$		$2^{m},745$		$2^{m},745$	$3^{m},00$
Propulseur. pas.	»		$3^{m},020$		$3^{m},010$	$6^{m},000$
Propulseur. coefficient de recul. . .	»	»	0,148	0,126	0,174	0,196
Utilisation du propulseur en prenant 0,75 pour coefficient de rendement de la machine sur l'arbre : $K \frac{B^2 v^3}{0,75 F \times 75}$.	0,0729 K	0,0728 K	0,0756 K	0,0813 K	0,0713 K	0,1753 K
Valeur de M dans la formule $V = M \sqrt[3]{\frac{F}{B^2}}$	3,114	3,112	3,152	3,229	3,091	4,31

Il résulte de ces expériences que si le coefficient de résistance K avait la même valeur pour les trois bâtiments anglais, le *Vixen* serait inférieur aux deux autres ; mais nous avons dit que ce coefficient doit être sensiblement plus élevé pour le *Viper* et le *Vixen* que pour le *Waterwitch*, en raison de l'arrière à double étambot. Malgré cette cause d'infériorité, le *Viper* a donné de meilleurs résultats que le *Waterwitch*. Toutefois la différence n'est pas considérable, et si les facilités de manœuvre étaient plus grandes avec la propulsion hydraulique qu'avec deux hélices, ce mode de propulsion pourrait être préféré toutes les fois que le propulseur devrait être double. Mais l'expérience a montré que sous ce rapport, le *Waterwitch* est inférieur, bien que les tuyaux de décharge soient aussi éloignés que possible du plan longitudinal, ce qui fait qu'ils sont moins à l'abri que les deux hélices du *Viper*.

L'infériorité de la propulsion hydraulique ressort manifestement de la faible valeur de M, qui vaut seulement 3,114. On ne trouve dans les tableaux de l'atlas, que le groupe des canonnières [tableau C (suite)] ayant une puissance de machine très-réduite, qui aient une valeur de M aussi faible, encore l'*Hyène* a-t-elle, 3,47 pour valeur de ce cofficient, ce bâtiment étant également à deux hélices, et ayant atteint la vitesse du *Waterwitch* avec 20^{ch} indiqués par mètre carré de maître-couple immergé, tandis que le *Waterwitch* en avait 26 à sa disposition. Comparé au *Talisman*, qui est de même taille, le *Waterwitch* a donné des résultats d'une très-grande infériorité. Sa valeur de M ne vaut que les 0,72 de la valeur du même coefficient du *Talisman*. — Les valeurs de K peuvent être considérées comme très-peu différentes pour ces deux bâtiments, et l'utilisation du *Waterwitch* n'est que les 0,42 de celle du *Talisman*.

L'infériorité du *Viper* et du *Vixen* a sa raison d'être dans la disposition très-désavantageuse des formes de l'arrière ; tandis que pour le *Waterwitch*, qui a les extrémités très-fines, l'infériorité ne peut être attribuée qu'au mode de propulsion. — Nous allons voir que le propulseur hydraulique n'est pas plus avantageux pour les petits bâtiments.

Le propulseur *Cockerill* a été essàyé sur une embarcation de formes très-fines, le *Seraing*, disposé pour un service de passagers : la machine n'à qu'un seul cylindre horizontal placé dans le sens longitudinal du bâtiment ; sa bielle est attelée sur un coude de l'arbre vertical de la turbine. Cette dernière fonctionne un peu au-dessous de la flottaison, dans l'intérieur d'une caisse cylindrique en tôle, communiquant avec le liquide extérieur par un large canal inférieur et par des trous pratiqués dans le fond de l'embarcation. La turbine a deux tuyaux de refoulement : l'un part de l'avant et se dirige horizontalement sur tribord ; l'autre part de l'arrière et se dirige horizontalement sur babord. Avant de traverser la muraille, chacun de ces tuyaux est muni d'un gros robinet à deux fins, qui sert à faire passer l'eau affluente dans l'un des deux tuyaux de décharge parallèles à la quille, qui se dirigent l'un sur l'avant et l'autre sur l'arrière. Le premier débouche vers le milieu de la longueur de l'embarcation ; l'autre débouche sous les hanches.

Voici les résultats des essais, que nous comparerons à ceux qui ont été obtenus sur le *Favori* [tableaux C et C (suite)], construit pour un service semblable.

DÉSIGNATION.		SERAING.	FAVORI.
Surface immergée du maître-couple	B^2	$1^{m.c},40$	$4^{m.c},00$
Puissance indiquée en chevaux de 75^{km}	F.	$27^{ch},40$	$77^{ch},00$
Nombre de chevaux indiqués par mètre carré du maître-couple immergé		$19^{ch},57$	$19^{ch}25$
Vitesse du bâtiment en mètres par seconde	v	$2^m,18$	$4^m.58$
Vitesse du bâtiment en nœuds à l'heure	V	$4^n,25$	$8^n,91$
Propulseur. espèce		hydraulique.	1 hélice.
Propulseur. diamètre		»	$1^m,30$
Propulseur. pas		»	$2^m,06$
Propulseur. nombre de tours par minute		»	175^t
Utilisation du propulseur en prenant 0,75 pour coefficient de rendement de la machine sur l'arbre.	$K\dfrac{B^2v^3}{0,75\,F\times 75}$	0,0094 K	0,0887 K
Valeur de M dans la formule $V = M\sqrt[3]{\dfrac{F}{B^2}}$		1,575	3,350

Le *Favori* est véritablement d'une taille un peu trop grande par rapport au *Seraing;* mais les deux bâtiments ont la même puissance par mètre carré de la maîtresse-section immergée ; d'ailleurs le *Seraing* a les formes très-fines. Bien que le coefficient K puisse avoir pour ce dernier bâtiment une valeur plus grande que pour le *Favori*, la différence ne saurait expliquer l'infériorité de l'utilisation, qui est neuf fois plus faible sur le *Seraing* que sur le *Favori*. Il en est d'ailleurs de même de la valeur de M. — Ainsi la propulsion hydraulique est désavantageuse et comme vitesse et comme rendement.

N° 56₄ Avantages et inconvénients des propulseurs hydrauliques. — La propulsion hydraulique possède les avantages suivants :

1° Elle est applicable sur les navires d'un très-petit tirant d'eau et permet ainsi de donner aux bâtiments une immersion qui leur rende facile l'accès de tous les ports.

2° Son efficacité est très-peu influencée par l'état de la mer, pourvu toutefois que les conduits de décharge soient placés assez bas pour que les mouvements de roulis ne mettent jamais leur orifice de sortie à découvert.

3° Le propulseur n'est que peu ou point exposé aux avaries résultant, soit de l'action des projectiles ennemis, soit des chances d'un abordage, à la condition que les tuyaux de décharge soient placés sous les flancs du navire. Il ne court pas non plus le moindre risque d'être engagé par des amarres, des chaînes, des débris de mâture ou de gréement, ou tous autres objets que l'ennemi peut placer sur le chemin du bâtiment.

4° Elle permet de changer rapidement le sens de la marche du navire, sans que l'on soit obligé de stopper la machine, et fonctionne également bien dans les deux sens. Cette dernière circonstance permettrait d'armer l'arrière d'un éperon, comme l'avant, et le navire aurait la faculté d'attaquer l'ennemi par l'une quelconque de ses extrémités.

5° L'évolution du bâtiment est facilitée par l'orientation sur l'avant, de la veine liquide qui correspond au bord sur lequel on veut abattre. Toutefois l'efficacité giratoire des propulseurs hydrauliques a été trouvée inférieure à celle de deux hélices jumelles.

6° Le propulseur hydraulique peut être transformé en pompe de cale énergique sans rien perdre de son efficacité pour la locomotion ou les évolutions. Il est en effet possible, en cas de voie d'eau, de puiser dans la cale même, l'eau nécessaire pour alimenter la turbine, après avoir fermé en totalité ou en partie les orifices par où cette eau s'introduit habituellement.

Par contre, la propulsion hydraulique possède les inconvénients suivants :

1° Les orifices d'accès de l'eau dans la turbine peuvent être engagés par des herbes ou autres corps flottants. Et dans le cas particulier d'un échouage, l'arrivée de l'eau extérieure dans la turbine peut être interceptée, ce qui rendrait la machine impuissante au moment même où son secours serait indispensable.

2° A égalité de poussée effective, le propulseur hydraulique, avec sa turbine intérieure, la caisse en tôle qui la renferme, l'eau introduite dans le navire et les tuyaux dans lesquels cette eau circule, pèse beaucoup plus qu'une ou deux hélices avec leurs arbres. Le prix d'achat est aussi plus élevé; toutefois la différence serait considérablement diminuée si les propulseurs hydrauliques devenaient d'une construction courante.

3° Le rendement économique de la propulsion hydraulique est très-inférieur à celui de la propulsion héliçoïdale, pour les petits bâtiments comme pour les grands, mais principalement pour les premiers.

En résumé, le propulseur hydraulique présente, par rapport à l'hélice, plus d'inconvénients que d'avantages, et l'on ne saurait songer sérieusement à l'appliquer sur un bâtiment destiné à effectuer de longues traversées. Tout au plus pourrait-on en tirer profit pour des béliers destinés à garder des passes, en raison de ce qu'on pourrait les munir d'un éperon à chaque extrémité, et qu'ils n'auraient point besoin de virer de bord pour attaquer l'ennemi.

CHAPITRE IV, § 2. — THÉORIE GÉNÉRALE DES CHAUDIÈRES.

N° 57. — 1. De la combustion de la houille sur la grille. — 2. Influence des conduits de flamme et de la cheminée sur la combustion. — 3. Influence de la conduite des feux sur la combustion. — 4. Influence du mode de tirage sur la combustion. — 5. De la température dans le foyer due à la combustion. — 6. Du moyen d'améliorer la combustion de la houille par une modification de l'état physique du combustible. — 7. Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par l'amélioration de celle de ses gaz. — 8. Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par le mode de chargement de la grille.

N° 57_1 De la combustion de la houille sur la grille. — Le but industriel de la combustion dans un foyer de chaudière, est le développement de la chaleur destinée à vaporiser l'eau. Lorsque

la machine fonctionne, la dépense de vapeur se fait d'une manière à peu près uniforme, et il devrait par suite en être de même de la production de chaleur développée par la combustion. Par suite, le combustible et l'air devraient arriver dans le foyer en quantités et avec une vitesse constantes, et d'ailleurs en proportion convenable, suivant la nature du combustible.

La combustion suppose une limite inférieure de température, variable pour les différents combustibles, mais déterminée pour chacun d'eux. D'autre part, avec les combustibles naturels, comme la houille, ce n'est jamais le combustible lui-même qui brûle, mais bien les produits de sa décomposition par la chaleur. On a donc toujours affaire à deux combustions différentes et simultanées : celle des produits volatils qui donnent la flamme, et celle du charbon. Le rapport entre les effets de ces deux actions varie non-seulement pour les différents combustibles, mais aussi pour un même corps avec la température à laquelle s'effectue la décomposition.

Tout système de chauffage doit assurer le développement aussi complet que possible de la chaleur du combustible, en même temps que l'utilisation maximum de la chaleur produite pour l'effet que l'on a en vue : la vaporisation de l'eau dans les chaudières. Ces deux conditions sont en principe contradictoires, lorsqu'on veut utiliser la chaleur dans l'enceinte et au moment même où elle est développée. L'absorption de chaleur par la chaudière est nécessairement accompagnée d'un abaissement de température de la combustion et, par suite, d'une diminution de la quantité de calorique développée.

D'autre part, dans nos chaudières marines, l'arrivée du combustible sur la grille ne se fait pas d'une manière continue; le renouvellement se fait bien par charges égales, autant que possible, mais seulement par intervalles. Le passage de l'air à travers la grille et le combustible est déterminé par le tirage d'une cheminée plus ou moins élevée, dans laquelle se fait quelquefois l'échappement des cylindres. Dans tous les cas, l'énergie de l'appel est à peu près uniforme et la quantité d'air qui traverse le foyer n'est jamais en rapport avec le combutible consommé, par la raison que cette quantité d'air augmente à mesure que la grille se dégarnit, c'est-à-dire précisément au moment où il en faudrait une moins grande quantité.

Enfin les cendres et les escarbilles tombent bien dans le cendrier;

mais le mâchefer reste dans le foyer, d'où il faut l'enlever par l'opération longue et pénible du décrassage. Pendant ce travail, de même que pendant le chargement du fourneau, il entre dans le foyer une masse d'air inutile pour la combustion et nuisible à l'utilisation, car outre que cet air emporte de la chaleur, il occasionne un abaissement de la température de la combustion. — Il résulte de ce que nous venons de dire que nos foyers ordinaires de chaudières fonctionnent dans de mauvaises conditions. Nous allons examiner comment on pourrait améliorer ce fonctionnement.

N° 57, Influence des conduits de flamme et de la cheminée sur la combustion. — La cheminée, destinée en principe à conduire la fumée à l'extérieur, a, en outre, comme fonction essentielle, de déterminer l'appel de l'air nécessaire à la combustion et d'assurer son renouvellement au fur et à mesure qu'il se dépouille de son oxygène.

L'ensemble du foyer, des conduits de flamme et de la cheminée, forme une capacité dans laquelle l'air froid arrive à la partie inférieure en traversant la grille, et sort à la partie supérieure, c'est-à-dire au sommet de la cheminée, à une température plus élevée qu'à son entrée, et en entraînant la partie de combustible avec laquelle il s'est combiné. — La force motrice qui détermine ce passage est la différence des pressions sous la grille et en haut de la cheminée; elle a pour mesure l'excès de poids que présente sur la colonne des gaz chauds, composés des produits de la combustion, une colonne d'air froid de même hauteur. Le travail produit consiste à imprimer une certaine vitesse aux gaz chauds, et à vaincre les résistances opposées au passage de l'air par la grille, et au mouvement des gaz par les frottements dans les conduits et par les changements de direction que ces conduits présentent.

Pour chaque degré d'augmentation de température, l'air se dilate de $1/273^e$ de son volume à zéro degré ou de $1/(273+t)$ de son volume à t^o. Si les gaz de la combustion ont une température *moyenne* de T^o, une colonne de ces gaz ayant primitivement une hauteur H^m et un mètre carré de base, subira une augmentation de hauteur égale à $\frac{HT}{273+t}$.
Cet accroissement de hauteur détermine l'excès de pression de la colonne extérieure sur la colonne intérieure de la cheminée et des conduits de flamme. La vitesse d'écoulement est théoriquement

celle que prendrait un corps tombant de cette hauteur et dans le vide ; donc (n° 15_3 du *Gd Traité*) :

$$V = K\sqrt{2g\frac{HT}{273+t}}.$$

Le coefficient K est destiné à tenir compte des pertes de vitesse résultant de la résistance que l'air éprouve à son passage à travers le combustible et des frottements des gaz dans les conduits. Comme il est presque impossible de déterminer la température moyenne des gaz de la combustion depuis le foyer jusqu'au sommet de la cheminée, il est plus simple de remplacer T par T-*t*, différence des températures à l'entrée et à la sortie de ces gaz, en faisant par ailleurs abstraction de *t* au dénominateur, et de poser comme approximation suffisante :

$$V = K\sqrt{2gH\frac{T-t}{273}}$$

Dans ces conditions, le coefficient K varie seulement de 0,20 à 0,25 pour une cheminée en tôle. La valeur de K = 0,20, convient surtout aux navires où l'air éprouve une certaine résistance à passer par les panneaux pour arriver à la chaufferie.

Il est important de noter que l'efficacité des parties hautes de la cheminée, surtout lorsque cette dernière est en tôle, diminue à mesure que la hauteur augmente, à cause des refroidissements que subissent les produits de la combustion et du surcroît de frottements qui en résulte. Pour les chaudières marines, on donne généralement pour hauteur à la cheminée au-dessus de la grille :

sur les avisos	10m	(Indret.)
sur les bâtiments moyens	14m	
sur les grand bâtiments	18m	

D'autre part, le rapport de la section de la cheminée à la surface totale des grilles vaut de 0,12 à 0,13 (Audenet).

Ce rapport peut être notablement augmenté sans inconvénients ; ce cas d'augmentation se présente tout naturellement lorsqu'une cheminée desservant à la fois plusieurs chaudières, on n'en met qu'une partie en fonction. L'expérience montre que dans ces conditions, la manière dont s'opère la combustion n'est pas sensiblement altérée.

Chaleur perdue par les cheminées. — Avec nos cheminées en tôle de 12^m à 16^m de hauteur, la température des gaz chauds à la base de la cheminée est comprise entre 350° et 400°. Or 1^{kg} de houille moyenne exige pratiquement 22^{kg} d'air pour brûler, soit 23^{kg} pour poids total des produits de la combustion. En admettant que la capacité calorifique de ces produits soit en nombre rond le quart de celle de l'eau (n° 74_1 du G^d *traité*), la chaleur perdue par la cheminée vaut $\frac{350 \times 23}{4} = 2.012$ calories, ce qui représente un peu plus du quart de la puissance calorifique de la houille. — Il y a tout intérêt à réduire cette dépense, d'autant plus qu'à partir d'une certaine limite, le tirage n'est pas sensiblement augmenté par l'élévation de température, les vitesses de l'air étant seulement dans le rapport des racines carrées des différences de température à l'entrée et à la sortie. Or ces rapports ont pour valeur :

différences des températures.	100	150	200	250	300	350	400
rapport des vitesses.	1	1,22	1,41	1,58	1,73	1,87	2,00

En abaissant la température de la base de la cheminée, par une augmentation de la surface de chauffe et une meilleure disposition des courants de flamme, jusqu'à 200°, par exemple, la dépense occasionnée par la cheminée ne serait plus que de 15 p. 100, et l'on utiliserait 10 p. 100 de plus du pouvoir calorifique du combustible.

Pour qu'un feu soit bien conduit et produise le maximum d'effet utile, il faut que l'épaisseur de la couche de charbon sur la grille soit réglée en raison de l'énergie du tirage; c'est-à-dire qu'il faut augmenter ou diminuer la résistance au passage de l'air en même temps que la puissance de l'appel augmente ou diminue. Pour réaliser le bénéfice ci-dessus, il faudrait par suite, avec un tirage naturel, brûler le charbon sur une couche plus mince qu'on n'a l'habitude de le faire, et partant, augmenter la surface de grille, ainsi que la section des courants de flamme et celle de la cheminée. Il ne faut pas perdre de vue, toutefois, qu'avec une combustion lente, la température du foyer est moins élevée, et qu'il existe pour chaque combustible, une limite inférieure de température au-dessous de laquelle la combustion se fait mal.

Courants de flamme. — Tant que la couche de charbon sur la

grille est en rapport avec l'énergie du tirage, la section de la flamme qui se dégage de la houille reste dans un rapport déterminé avec la surface de la grille. Il faut par suite que la section du foyer au-dessus de l'autel soit dans ce même rapport, afin que la flamme se dégage bien et que la combustion se fasse dans de bonnes conditions. Dans nos chaudières marines tubulaires, la flamme qui franchit l'autel pénètre dans la boîte à feu où la combustion se continue, puis elle se divise pour passer dans les tubes, où elle subit nécessairement une certaine contraction ; il faut donc que la section tubulaire soit plus grande que la section au-dessus de l'autel. L'expérience a consacré les rapports suivants :

Rapport à la surface de grille.	De la section au-dessus de l'autel.	= 0,13 à 0,19	(Audenet.)
	De la section tubulaire mesurée à l'intérieur des bagues. . . .	= 0,15 à 0,16	

Le système tubulaire a l'avantage de présenter sous le même volume une plus grande surface de chauffe et, par suite, d'absorber plus rapidement la chaleur dégagée par la combustion. Malheureusement la combustion n'est pas complète au moment où les gaz pénètrent dans les tubes ; et comme la température de ces gaz s'abaisse notablement pendant leur parcours, il en résulte que la combustion ne peut s'achever et qu'une grande partie du combustible s'échappe par la cheminée. Dans quelques cas, avec des charbons à flamme longue, la combustion reprend dans la boîte à fumée, où elle est même plus active que dans les tubes ; mais la chaleur produite s'échappe presque en entier par la cheminée, et la perte reste la même. — Il y aurait certainement intérêt à parfaire la combustion des gaz avant leur introduction dans les tubes ; ceux-ci pourraient alors être faits très-petits et présenter par suite une grande surface de chauffe. Malheureusement les conditions de poids et d'encombrement imposées aux machines marines, ne permettent pas de donner aux courants de flamme toute la longueur désirable pour assurer une combustion parfaite, et dépouiller suffisamment les gaz de la chaleur qu'ils possèdent.

N° 57_3 Influence de la conduite des feux sur la combustion. — Les quantités de charbon brûlées dans une chaudière ne dépendent pas seulement des proportions adoptées pour les

diverses parties de cette chaudière, mais aussi de la manière dont le feu est conduit et, en particulier, de l'importance des charges et de l'épaisseur du combustible sur la grille. On peut en effet, suivant que l'on retiendra ou que l'on poussera les feux, brûler dans nos chaudières marines à tirage naturel, depuis 70 jusqu'à 130 kilogrammes de bonne houille par heure et par mètre carré de grille. Les résultats des expériences excessivement nombreuses faites sur ces chaudières, en faisant ainsi varier les quantités de combustible brûlées par unité de temps, ont montré que la production de vapeur va constamment en augmentant avec le poids de charbon consommé. Mais il n'en est pas de même de l'utilisation du combustible.

Les feux sont retenus ou poussés, suivant que la couche de charbon est faible ou forte. Dans le premier cas, on brûle peu de charbon, et il passe une forte proportion d'air qui entraîne en pure perte, dans la cheminée, une partie de la chaleur produite. A mesure qu'on augmente l'épaisseur de la couche, on rend le passage de l'air plus difficile et l'on diminue par suite la quantité d'air inutile. Mais à partir d'une certaine limite, on favorise la formation de l'oxyde de carbone et l'on augmente les chances qu'ont les gaz combustibles d'arriver à la cheminée sans être brûlés; de sorte qu'on fait naître une nouvelle cause de diminution du rendement. Il est évident qu'il existe une épaisseur de la couche de charbon, intermédiaire, pour laquelle la somme des quantités de chaleur perdue, d'une part pour cause d'excédant d'air, et d'autre part pour cause de combustion imparfaite des gaz, doit être un minimum correspondant à un maximum d'utilisation du combustible, c'est-à-dire au maximum de vapeur produite par kilogramme de charbon. Les expériences exécutees à terre, avec toutes facilités données à l'arrivée de l'air, ont montré que le rendement atteint sa valeur maximum lorsqu'on brûle de 90 à 100 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure. Ce résultat est d'ailleurs obtenu lorsque la quantité d'air qui traverse le foyer est double de celle qui serait théoriquement nécessaire pour brûler le combustible. S'il était possible de réduire cette quantité d'air au strict nécessaire, on bénéficierait de toute la chaleur emportée par 11^{kg} d'air, soit en nombre rond, en supposant toujours à 350° la température de la base de la cheminée, $\frac{350 \times 11}{4} = 962$ calories, soit 13 p. 100 du pouvoir calorifique du combustible. La réalisation de cette condition entraînerait, par ailleurs, une élévation de la température du foyer, et

par suite une augmentation de la production de vapeur rapportée à l'unité de surface de chauffe, ce qui permettrait de réduire les dimensions et le poids des chaudières.

N° 57_4 Influence du mode de tirage sur la combustion. — Le tirage produit par la cheminée prend le nom de *tirage naturel.* Mais pour appeler dans les fourneaux l'air nécessaire à la combustion, on emploie encore deux autres procédés dont les modes d'action prennent le nom commun de *tirage forcé.* Ces procédés sont ou des jets de vapeur ou des moyens mécaniques (n° 87_9 du *G^d Traité*).

Quand on active le tirage, soit au moyen des jets de vapeur lancés dans la cheminée, soit en soufflant ou en aspirant de l'air à travers le combustible par un procédé mécanique quelconque, on arrive à augmenter très-notablement la production de la chaudière. Cela résulte de ce que l'on brûle dans le même espace et dans le même temps, une plus grande quantité de combustible, et que, par suite, la température du foyer et des courants de flamme étant plus élevée, il passe à travers les surfaces de chauffe une plus grande quantité de chaleur par unité de temps. — Il ressort des expériences faites à *Indret* par M. l'ingénieur *Joëssel*, et citées par M. *Audenet*, que la quantité de vapeur produite par kilogramme de charbon brûlé reste sensiblement la même avec le tirage forcé qu'avec le tirage naturel, si le chargement et la conduite des feux sont convenablement réglés. Dans ces expériences, on a fait varier l'épaisseur de la couche de combustible sur la grille depuis le point où elle se dégarnissait sous la chauffe, jusqu'au point où le fourneau s'engorgeait, les charges étant d'ailleurs égales et faites à intervalles égaux. Or on a trouvé que la consommation qui produit le maximum d'utilisation, qui était de 98 kilog. par mètre carré de grille avec le tirage ordinaire, s'est élevé jusqu'à 156 kilog. lorsqu'on a eu recours à un tirage artificiel suffisamment énergique, et l'on a reconnu en même temps que la production correspondante de vapeur par kilog. de houille restait sensiblement égale à 8^kg, 36 pour tous les tirages expérimentés.

Ce résultat très-remarquable prouve évidemment que les conditions de la combustion ont varié d'un cas à l'autre. La température du foyer et des gaz étant plus élevée lorsque le poids de charbon brûlé est plus grand, la fumée est d'autant plus chaude que le tirage est plus énergique. L'accroissement de dépense qui résulte de cette plus haute température de la fumée, a dû être compensé par une diminu-

tion de la quantité d'air introduit en excès, résultant de l'augmentation de l'épaisseur de la couche de charbon à mesure que le tirage est plus actif. — En résumé, le tirage forcé a l'avantage d'opérer, dans le même temps et pour un même foyer, la combustion d'une plus grande quantité de houille, et permet de l'effectuer dans de meilleures conditions que le tirage ordinaire, puisqu'il passe dans le fourneau une moins grande quantité d'air en excès.

Au point de vue économique, le tirage forcé est plus coûteux que le tirage naturel, puisque la production de vapeur par *kilogramme* de charbon étant sensiblement la même dans les deux cas, il y a, avec le tirage forcé, la dépense de vapeur employée à activer le tirage, ou celle qui est dépensée par le moteur du ventilateur. Le seul bénéfice qui résulte du tirage forcé, consiste à obtenir d'une même chaudière une production de vapeur plus abondante et, par suite, de permettre de faire développer à l'appareil moteur, à un moment donné, une plus grande puissance.

Le tirage forcé est indispensable pour les tout petits bâtiments qui ne peuvent pas avoir une hauteur de cheminée suffisante; et en service courant, c'est généralement l'évacuation des cylindres qui augmente l'énergie du tirage. La dépense qui en résulte se traduit par une augmentation de la contre-pression sur les pistons moteurs.

Sur les *Thornycroft* (n° 28_8), bateaux porte-torpilles à grande vitesse, que l'on a construits dans des conditions de minimum de poids, on emploie le tirage forcé qui résulte de la compression de l'air par un ventilateur, dans la chambre des machines et dans la chaufferie. L'appareil moteur et sa chaudière sont logés dans un compartiment clos, et n'ayant de communication avec l'atmosphère que par le ventilateur qui refoule de l'air, et par la cheminée, seule issue par laquelle cet air puisse s'échapper après avoir traversé le foyer. On est ainsi parvenu à brûler jusqu'à 400 kilog. de charbon *Nixon* par mètre carré de grille et par heure, avec une pression d'air de 115^{cm}, 5 d'eau, correspondant à 8^{cm}, 5 de mercure. Ce résultat n'a pu être obtenu avec les briquettes ordinaires d'*Anzin* divisées en 12 morceaux, et ce n'est que par une fabrication spéciale de ces briquettes, d'un modèle plus petit, que l'on est arrivé à obtenir à peu près le même résultat qu'avec le *Nixon*. — Tant que le tirage ne dépasse pas 100^{cm} d'eau, il passe peu d'escarbilles par la cheminée; mais, dès qu'il dépasse ce chiffre, une grande partie du combustible est entraînée. Aussi la dépense du charbon s'est élevée à 2^{kg} par heure et par

cheval indiqué, bien que la machine soit du système Compound, à haute pression et à grande détente.

Sur les porte-torpilles construits par *Claparède*, on a pu brûler 300^{kg} de briquettes d'Anzin par mètre carré de surface de grille et par heure, la pression de l'air refoulé par le ventilateur ayant varié de 5^{cm} à 12^{cm} de mercure. En marche, une partie des mâchefers est entraîné par le courant gazeux, à l'état de gouttelettes liquides; ces gouttelettes s'attachent aux bagues des tubes et finissent par obstruer en partie les passages des gaz, ce qui diminue notablement l'activité du tirage. La dépense de charbon s'est élevée à 1^{kg}, 78 par heure et par cheval indiqué.

Des expériences comparatives entre le tirage naturel et le tirage artificiel produit par la compression de l'air dans la chambre des machines, ont été faites sur le *La Bourdonnais*. Ces expériences ont donné les résultats moyens suivants :

DÉSIGNATION.		TIRAGE NATUREL.	TIRAGE FORCÉ.
Charbon brûlé par heure par mètre carré de grille.		$95^{kg},3$	$129^{kg},5$
Tirage moyen.		•	$12^{cm},5$ d'eau.
Rapport des puissances développées	avec une chaudière.	1	1,47
	avec deux chaudières.	1	1,25
Charbon dépensé par heure et par cheval indiqué	avec une chaudière.	$1^{kg},08$	$1^{kg},00$
	avec deux chaudières.	$0^{kg},98$	$1^{kg},01$

On peut conclure de ces résultats que le tirage forcé procure une augmention de puissance, résultant d'une plus grande quantité de charbon brûlé par mètre carré de surface de grille et par heure, et que l'utilisation du combustible reste sensiblement la même. — Les analyses faites avec l'appareil *Orsat* (n° 73_3) ont donné comme composition des gaz de la combustion, avec le tirage forcé :

Azote	80,5
Acide carbonique	14,0
Oxyde de carbone	2,3
Oxygène libre	3,2

d'où l'on a déduit que le volume d'air employé à brûler 1^{kg} de charbon a été de $9^{m.cub}5$, soit un poids de $1^{kg},23 \times 9,5 = 11^{kg},7$, au lieu de 22^{kg} que l'on emploie moyennement avec le tirage ordinaire. Il en est résulté une température beaucoup plus élevée pour le fourneau et

les courants de flamme, et finalement une meilleure utilisation du combustible, bien que les gaz aient pu arriver à la base de la cheminée à une température un peu supérieure à 350 degrés.

Enfin, voici les conclusions de M. *Joëssel*, ingénieur de la marine, qui a expérimenté les moyens suivants de tirage forcé.

1° *Les jets de vapeur établis dans la cheminée.* — C'est à la fois le mode le plus économique et le plus facile à installer. Dans les chaudières réglementaires de la marine, ayant 14 mètres de hauteur de cheminée, et pour lesquelles l'accès d'air aux foyers est facile, il fournirait un supplément de vapeur dès que la charge atteindrait 112 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure. A bord des navires ayant une cheminée moins élevée, ou bien dans ceux où l'air arrive difficilement aux foyers, cette limite serait encore plus approchée. Il est vraisemblable qu'il y aurait avantage à s'en servir aux allures habituelles à feux poussés, qui correspondent seulement à une consommation de 90 à 100 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure. En portant la dépense à 200 kilogrammes, la puissance initiale de la chaudière est augmentée de 30 pour 100.

2° *Les ventilateurs à palettes soufflant dans les cendriers.* — Ce mode de tirage, usité en Amérique, est également susceptible d'une grande énergie; mais dans nos chaudières, il ne donnerait un bénéfice qu'à partir de la charge de 160 kilogrammes par mètre carré de grille et par heure, et ce bénéfice serait beaucoup moindre qu'en employant un jet de vapeur.

3° *Les ventilateurs à hélice établis dans la cheminée.* — C'est un mode de tirage très-difficile à installer, d'une faible énergie lorsqu'on se renferme, pour la vitesse de rotation des hélices, dans les limites sanctionnées par la pratique, et qui, dans les chaudières réglementaires, donnerait lieu à une perte de vapeur considérable.

4° *Les appareils de M. Thierry et de M. Courbebaisse* (n° 62_4), qui doivent être uniquement réservés pour prévenir ou brûler la fumée.

La propriété fumivore que possèdent ces appareils ne leur appartient pas exclusivement; elle est partagée par les autres modes de tirage essayés, surtout par les deux premiers (jet de vapeur dans la cheminée et injection d'air sous la grille).

A l'aide des courbes qui ont été construites dans ces expériences, M. l'ingénieur *Joëssel* a établi les formules suivantes, la pression effective de la vapeur étant de 130 centimètres de mercure.

Étant donné le poids P kilogrammes de charbon à brûler par heure dans un foyer réglementaire, la dépense Q kilogrammes de vapeur à faire dans le même temps pour le tirage, afin d'obtenir le maximum de vapeur disponible, est donné pour les foyers du type bas, par l'équation :

$$Q = 3{,}62\,(P - 151);$$

ce qui donne par mètre carré de grille et par heure :

$$q = 2{,}46\,(P - 151)$$

Le poids Q_1 kg de vapeur disponible dans le même temps est donné par l'équation :

$$Q_1 = 1.220 + 4,92\ (P - 151);$$

ce qui donne par mètre carré de grille et par heure :

$$q_1 = 830 + 3,35\ (P - 151).$$

Le diamètre du jet est donné en millimètres par la relation suivante, qui ne convient rigoureusement qu'au cas où la pression effective de la vapeur est de 130cm de mercure,

$$D = \sqrt{\frac{q - 20}{1,20}}.$$

Pour obtenir la meilleure combustion, c'est-à-dire le maximum d'eau vaporisée par kilogramme de charbon, il faut dépenser, pour les foyers du type bas :

$$Q_2 = 3,59\ (P - 133);$$

ou par mètre carré de grille :

$$q_2 = 2,44\ (P - 133).$$

L'amélioration de la combustion produite par le tirage forcé, provient, avons-nous dit, de la diminution de la quantité d'air introduit en excès dans le fourneau. La vivacité du courant d'air n'est sans doute pas étrangère à cette amélioration, car elle a pour effet de rapprocher davantage les molécules qui doivent se combiner, et de dégager les surfaces incandescentes des cendres qui pourraient y rester attachées ; mais c'est surtout à la plus grande épaisseur de la couche qu'il faut attribuer l'amélioration de la combustion.

Avec le tirage naturel, la houille est étendue sur la grille en morceaux de forme et de grosseur irrégulières, eux-mêmes irrégulièrement répartis, et présente une couche d'autant moins homogène qu'elle est moins épaisse. Sur certains points, on rencontre des canaux étroits et sinueux, à travers lesquels l'air ne peut passer sans que tout son oxygène soit absorbé ; sur d'autres points, on trouve de grandes ouvertures presque directes, qui livrent passage à de larges veines d'air dont les parties centrales ne se combinent pas avec le combustible. Si l'on augmente l'épaisseur de la couche en activant le tirage, les morceaux ajoutés bouchent partiellement les ouvertures trop grandes et l'air y passant moins aisément y est mieux utilisé ; mais, par contre, la circulation de l'air devient plus difficile là où la com-

bustion se faisait primitivement bien, et l'oxygène s'y trouvant en quantité insuffisante, l'acide carbonique auquel il a donné naissance se transforme en oxyde de carbone. Ainsi l'augmentation de l'épaisseur de la couche améliore la combustion sur certains points, et la rend plus mauvaise sur d'autres.

La difficulté qu'on rencontre à opérer la combustion de la houille dans de bonnes conditions, tient donc surtout à ce que, en raison du *défaut d'homogénéité* de la couche, la combustion ne peut se faire bien sur un point qu'à la condition de se faire mal sur un autre. L'emploi du tirage forcé conduit nécessairement à donner une plus grande épaisseur à la couche de combustible, et cette plus grande épaisseur a certainement pour effet de faire disparaître, ou tout au moins d'atténuer les inégalités de constitution que la masse de combustible peut présenter d'un point à un autre de la grille. — Il résulte de ces explications qu'une bonne combustion exigeant un dosage convenable des quantités d'air et de combustible mises en présence, il convient pour bien effectuer ce dosage, que le combustible présente une homogénéité de constitution chimique et physique aussi grande que possible. Par suite, avec un charbon en morceaux de grosseur convenable, tous bien calibrés et uniformément répartis sur la grille, on devrait obtenir avec le tirage naturel une combustion aussi satisfaisante qu'avec le tirage forcé. Il n'y aurait guère entre les deux systèmes, que cette seule différence, qu'avec le tirage forcé on brûlerait dans le même foyer, une plus grande quantité de houille par unité de temps.

N 57_5 De la température dans le foyer due à la combustion. — La température de la combustion sur la grille est en pratique essentiellement variable. Cette température augmente progressivement pendant l'allumage, jusqu'à ce que le foyer soit en pleine activité. A partir de ce moment, la température de la combustion sur la grille diminue et augmente alternativement avec l'épaisseur de combustible, et les périodes de charge du fourneau. — Au moment où l'on vient de mettre une nouvelle quantité de charbon frais sur la grille, la température est minimum, à cause du refroidissement qu'occasionne la présence de ce charbon frais et l'ouverture de la porte du fourneau. La chaleur augmente ensuite peu à peu à mesure que ce charbon s'allume, et la température est maximum quand le foyer est en pleine activité. Mais la couche de charbon diminuant par suite de la com-

bustion, l'air en excès passe en plus grande quantité, et la température diminue jusqu'à ce qu'on effectue une nouvelle charge du fourneau, opération qui amène cette température à sa valeur minimum.

La température des gaz qui circulent dans le fourneau et dans les courants de flamme, suit les mêmes variations que la température de la combustion sur la grille, puisqu'elle résulte principalement de cette dernière. Mais ces gaz sont loin d'avoir une température uniforme dans toute leur masse. Les parties en contact avec les surfaces de chauffe sont incomparablement moins chaudes que celles qui se trouvent au centre des veines gazeuzes, et cela, à cause de la faible valeur du pouvoir de conductibilité des gaz. — Enfin, la température moyenne des produits de la combustion diminue depuis le fourneau jusqu'à la cheminée.

Il est dificile d'apprécier la température qui existe en divers points de la hauteur d'un foyer; mais les différences que nous venons de signaler sont certainement considérables. Une lame de fer de la largeur d'un crochet et d'un centimètre d'épaisseur, introduite dans le foyer par le dessous de la grille, et buttant sur le ciel du fourneau, est fondue en très-peu de temps à la partie qui correspond à l'épaisseur de la couche du combustible et sur une hauteur un peu supérieure à cette couche; tandis qu'elle est encore intacte et présente à peine quelques traces d'oxydation dans la partie qui touche le ciel du foyer; elle est encore dans ce dernier état à la hauteur de la grille. Les traces de brùlure ne s'étendent d'ailleurs pas très-haut dans le fourneau. Il résulte de ces faits, qu'il n'y a pas à craindre de fâcheux effets de l'augmentation de la température de la combustion, et que les tôles du foyer, les plus directement exposées au feu, ne courent le risque d'être brûlées que si un corps mauvais conducteur les sépare de l'eau. Dans l'état actuel de la construction des chaudières, le ciel du foyer est assez éloigné du point où la température est maximum; les flancs seuls, qui sont en contact immédiat avec le charbon, sont exposés à des brûlures. Si l'on réussit, par une disposition quelconque, à augmenter notablement la température de la combustion, il deviendra nécessaire d'isoler les flancs du foyer du charbon, par l'interposition d'une rangée de briques réfractaires.

Si l'on ne peut connaître la température de la combustion en un point donné du fourneau ou des courants de flamme, on peut déterminer, d'une manière suffisante pour la pratique, la valeur moyenne de la température du fourneau et de la boîte à feu, constituant la

surface de chauffe directe, ainsi que la température moyenne des gaz dans les tubes et dans la boîte à fumée.

Avec les chaudières tubulaires à retour de flamme, à moyenne pression, du type de la marine, 1^{kg} de houille, dont le pouvoir calorifique moyen est de 7.500 calories, vaporise à 130° un poids de 8^{kg} d'eau prise à 40°, et exige en pratique 22^{kg} d'air pour être brûlé.

La quantité de chaleur transmise à l'eau vaut les

$$\frac{(606,5 + 0,305 \times 130 - 40)\, 8}{7500} = 0,64$$

du pouvoir calorifique du combustible.

Les produits de la combustion d'un poids total de 23^{kg}, ont une capacité calorifique égale à $0^{cal},25$ en nombre rond ; or, l'expérience prouve que la température à la base de la cheminée, est d'environ 350°. En admettant que celle de l'air soit de 15°, les produits de la combustion emportent les

$$\frac{0^{cal},25 \times 23\,(350 - 15)}{7500} = 0,26$$

du pouvoir calorifique du combustible.

La quantité de chaleur perdue par le rayonnement ou emporté par le combustible non brûlé et les escarbilles qui tombent dans le cendrier, vaut par suite $1 - (0,64 + 0,26) = 0,10$ du pouvoir calorifique du combustible.

Soient :

$S^{m.q}$ la surface de chauffe directe, comprenant le foyer et la boîte à feu.
$s^{m.q}$ la surface de grille.
P^{kg} le poids de charbon brûlé par mètre carré de grille et par heure.
T_1 la température moyenne du fourneau et de la boîte à feu.
T_0 la température de la vapeur.
t la température de l'air.
K_1 le coefficient de conductibilité de la surface de chauffe directe.

On a évidemment :

$$7500\,P \times 0,90 \times s = K_1 S\,(T_1 - T_0) + 0,25 \times 23\,(T_1 - t)\,Ps.$$

D'où l'on tire :

$$T_1 = \frac{7500\,P \times 0,90 + K_1 \frac{S}{s} T_0 + 0,25 \times 23Pt}{K_1 \frac{S}{s} + 0,25 \times 23P}$$

Or, d'après ce qui est dit au n° 58_1, la valeur de K_1 est de 100 calories ; d'autre part, dans nos chaudières tubulaires, le rapport $\frac{S}{s} = 5$; par suite le produit

$K_1 \frac{S}{s}$ qui représentera le pouvoir de conductibilité de la surface de chauffe directe, rapportée au mètre carré de grille, vaut 500^{cal}. — Pour le cas où $T_0 = 130°$, $t = 15°$, et où $P = 90^{kg}$ chiffre qui a été trouvé par expérience comme donnant le meilleur rendement, il vient :

$$T_1 = \frac{7500 \times 90 \times 0,90 + 500 \times 130 + 0,25 \times 23 \times 90 \times 15}{500 + 0,25 \times 23 \times 90} = 670°.$$

Comme nous l'avons dit, cette température n'est pas uniforme : elle est plus élevée dans le foyer que dans la boîte à feu ; or, dans le fourneau lui-même, elle va en diminuant, de la couche de charbon au ciel du foyer. La tôle est par suite à une température bien inférieure au chiffre que nous venons de déterminer.

Pour la surface tubulaire dont le pouvoir de conductibilité pratique est, d'après M. *Audenet*, de 23^{cal} seulement, on admet que la température des gaz de la combustion décroît en progression géométrique lorsque la distance à la boîte à feu croît en progression arithmétique. Supposons que la longueur des tubes, qui est de 2 mètres, soit partagée en 20 parties égales, et soit $T_1 = 670°$, la température initiale d'introduction du gaz, et 360° la température à la sortie, celle du sommet de la boîte à fumée étant de 350° ; on pourra écrire la progression :

$$(T_1 = 670°) : q^1T_1 : q^2T_1 : q^3T_1 : q^4T_1 \ldots . \; q^{19}T_1 : (q^{20}T_1 = 360°) ;$$

d'où l'on déduit :

$$q = \sqrt[20]{\frac{360}{670}} = 0,96943.$$

La somme des termes de la progression commençant à qT_1 et finissant à $q^{19}T_1$, vaut :

$$\frac{q^{20}T_1 - qT_1}{q - 1} = \frac{360 - 650}{0,96943 - 1} = 9.486 \cdot$$

Par suite, la température moyenne dans les tubes vaut :

$$\frac{\frac{670 + 360}{2} + 9486}{20} = 500° \text{ en nombre rond.}$$

Mais il est certain que cette température moyenne est inférieure au chiffre ci-dessus, car si la température moyenne des foyers et de la boîte à feu est de 670°, la température d'introduction des gaz dans les tubes est beaucoup plus faible.

N° 57_6 Du moyen d'améliorer la combustion de la houille par une modification de l'état physique du com-

bustible. — La difficulté que présente la combustion de la houille, provient surtout de ce que le combustible est à l'état solide tandis que l'oxygène avec lequel il doit se combiner est à l'état gazeux, et que le mélange des deux est très-difficile à effectuer. Il en résulte, comme nous l'avons déjà dit, l'introduction nécessaire dans le foyer, d'une grande quantité d'air en excès. Ce mélange s'opérerait au contraire avec facilité si le charbon était préalablement réduit à l'état gazeux. De là, l'idée d'opérer cette transformation dans un appareil spécial et d'amener les gaz ainsi produits, en même temps que l'air nécessaire, dans le foyer où il s'agit de développer la chaleur.

Dans l'appareil *Baufumé*, la houille est renfermée dans un vase clos, entouré d'eau, et où l'air arrive chassé par un ventilateur, en quantité juste suffisante pour former de l'oxyde de carbone. Cet oxyde de carbone, mêlé à l'hydrogène carboné qui se dégage par suite de l'élévation de la température, vient ensuite brûler dans le fourneau. Ce système, qui a été expérimenté en 1855, produirait certainement une économie; mais il est d'une application fort difficile, à cause de son encombrement et de la détérioration rapide du vase clos, qui devrait d'ailleurs faire partie de la chaudière, afin de ne pas perdre la chaleur résultant de la formation de l'oxyde de carbone.

Dans un ordre d'idées analogues, on a proposé d'établir deux foyers conjugués : dans le premier, la charge des grilles serait très-forte, afin qu'il y ait formation d'oxyde de carbone; dans le second, dont la grille serait modérément chargée, cet oxyde de carbone serait brûlé, grâce à la température de ce foyer et à l'excédant d'air qu'il laisserait passer. Ce moyen n'est pas plus pratique que le premier, car outre l'encombrement, rien n'est moins certain que la combustion complète dans le second foyer, de tout l'oxyde de carbone formé dans le premier.

Après la transformation de la houille en gaz, et dans le même ordre d'idées, on a essayé sa réduction en poussier, ce qui a pour résultat de faciliter le mélange de l'air avec le combustible, celui-ci présentant une plus grande surface. Cette idée qui paraît déjà ancienne, a été appliquée par M. *Crampton*.

Dans une expérience faite sur une chaudière marine, les barreaux de grille étant enlevés, le fourneau était partagé, sur sa longueur, en deux chambres que séparait un autel en briques réfractaires. La première chambre, qui est le lieu de la combustion, était tapissée de briques réfractaires; la seconde formait avec la boîte à feu la surface de chauffe directe. Le charbon pulvérisé et l'air nécessaire à sa combustion, étaient à la température de 200° à 210° au moment de leur introduction dans le foyer. Le charbon en poussière était mis dans un entonnoir placé contre la boîte à fumée, et se déversait lentement par la partie inférieure, où un courant d'air amené par un ventilateur, le projetait dans le fourneau. La combustion a été obtenue sans fumée; la flamme n'a jamais atteint la partie supérieure de la boîte à feu. On n'a pas à se préoccuper de la charge, mais seulement de l'enlèvement des scories, qui restent dans la chambre de combustion à l'état fluide, et d'où on les extrait de temps à autres

par un orifice pratiqué à la partie inférieure du fourneau. La production de vapeur a été trouvée de 10^{kg} à 11^{kg} par kilogramme de charbon brûlé. Ce résultat accuse une combustion presque complète, et ce système de chauffage serait par suite très-économique; malheureusement son application est impossible sur les bâtiments, car on ne peut pas enmagasiner des quantités considérables de houille en poussière, et l'on ne saurait songer à installer à bord des appareils de broyage pour suffire aux besoins d'un service actif.

Sans arriver jusqu'à réduire le charbon en poussière, on obtiendrait certainement des bénéfices notables si le charbon était en petits morceaux tous de même grosseur, et d'une forme favorable à l'arrimage, en même temps qu'ils présenteraient une grande surface extérieure. On a déjà obtenu une amélioration sensible par la fabrication des briquettes. Cette industrie, qui a pris naissance quand on a songé à utiliser les menus, se trouve actuellement très-développée; le combustible naturel est transformé en briquettes sur le carreau même de la mine, après des lavages et des triages qui en améliorent la qualité.

Au point de vue pratique, c'est par l'amélioration de la qualité des briquettes et par la réduction de leurs dimensions, que l'on pourra arriver à brûler commodément le combustible sur les grilles, et dans les meilleures conditions. Si l'on arrivait à produire, dans la fabrication courante, de petites briquettes cylindriques ou rectangulaires ne pesant pas plus de 0^{kg}, 300, ces briquettes pourraient être jetées telles quelles sur les grilles, où elles formeraient une couche plus régulière que les morceaux que l'on obtient en brisant les briquettes actuelles, et l'on éviterait ainsi la poussière dont la plus grande partie tombe dans les cendriers ou bien est entraînée dans les courants de flamme.

N° 57_7 Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par l'amélioration de celle de ses gaz. — En pratique, tous les gaz du charbon ne sont pas brûlés, malgré l'introduction dans le fourneau d'une quantité d'air en excès. Cela tient à la présence de l'azote, ainsi que de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique déjà formés ; ces gaz inertes isolent l'oxygène des parties combustibles, oxyde de carbone et hydrogène, et comme, en outre, l'ensemble est animé de vitesses parallèles de 8 à 10 mètres par seconde, il n'est pas étonnant qu'une grande partie des gaz combustibles atteigne la cheminée sans être brûlée. A ces causes, s'ajoute le refroidissement produit par l'ouverture du fourneau pendant le temps de la charge, et précisément au moment où il y a surabondance d'hydrogène carboné.

On réaliserait une économie notable si l'on parvenait, sans altérer par ailleurs les conditions de marche du foyer, à brûler complètement les gaz combustibles. Plusieurs essais dans ce sens ont été tentés.

En première ligne, il faut citer l'introduction continue de l'air dans le foyer et dans la boîte à feu. La première introduction d'air se fait par la porte du fourneau, qui à cet effet, est percée d'un grand nombre de trous ; la seconde se fait par des trous ou des vides ménagés derrière l'autel. L'air qui arrive par la porte du fourneau a une direction presque parallèle à celle des gaz que le tirage incline sur la couche de combustible, et cet air ne peut être considéré que comme apportant un complément d'oxygène, mais qui par ailleurs, ne se trouve pas dans de meilleures conditions que celui qui a traversé la grille. L'air qui arrive derrière l'autel, en glissant pour ainsi dire le long des tôles de la boîte à feu, est à peu près dans les mêmes conditions ; et s'il apporte quelque amélioration à la combustion des gaz, ce ne peut être qu'à la faveur des remous que détermine sa plus grande vitesse, puisqu'il n'a pas eu la grille à traverser. A ce point de vue, les orifices d'introduction de l'air par l'arrière de l'autel, ne devraient pas être dirigés verticalement, mais bien obliquement, en travers du courant gazeux, de façon à rompre le parallélisme de marche des produits de la combustion qui sortent du foyer.

En second lieu, on a essayé d'opérer le mélange de l'oxygène et du gaz combustible, dans le foyer lui-même, ou à l'entrée de la boîte à feu. Pour obtenir ce mélange, on a eu recours à l'action mécanique empruntée à la vapeur de la chaudière, lancée en jets disposés de diverses manières au-dessus du combustible. C'est le principe des fumivores *Thierry* et *Turck* (n° 62_4). L'expérience a démontré que l'on pourrait arriver par ce procédé, à faire diparaître la fumée ou à la diminuer notablement, ce qui indique que la combustion est en effet plus complète. Mais on n'a obtenu aucun avantage économique, la quantité de vapeur dépensée, absorbant et quelquefois au-delà, le bénéfice résultant d'une meilleure combustion.

Pour remédier à la surabondance d'hydrogène carboné qui suit le chargement du fourneau, M. *Prideaux* a proposé d'introduire pendant quelques instants après ce chargement, un supplément d'air. Les dispositions mécaniques du système consistent surtout dans l'emploi d'une porte à persiennes. Les jours de ces persiennes s'ouvrent au moment du chargement et se ferment ensuite graduellement avec une vitesse que l'on peut régler à volonté. Ce système peut être efficace quelques instants après le chargement terminé, quand la température du fourneau s'est déjà relevée ; mais il est certainement nuisible s'il fonctionne aussitôt la porte du fourneau refermée, car l'air qui s'introduit retarde le moment où la température sera assez élevée pour que les gaz puissent brûler ; c'est, pendant quelques instants, la continuation de l'ouverture de la porte du fourneau. Ce système exige d'ailleurs un mécanisme plus ou moins délicat, à l'emploi duquel les chaudières marines se prêtent peu.

N° 57_8 Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par le mode de chargement de la grille. — Le

mode actuel de chargement de nos foyers ordinaires présente les inconvénients suivants ;

1° Nécessité d'introduire les charges d'intervalles en intervalles, d'où résulte que la grille est tantôt trop chargée et l'air fait défaut, tantôt dégarnie, et l'air est en excès d'une trop grande quantité. Dans le premier cas, le combustible est mal brûlé, dans le second l'air en excès occasionne un refroidissement.

2° Difficulté d'obtenir que le combustible soit étendu en couche régulière et homogène, surtout avec les grilles qui atteignent jusqu'à 2 mètres de longueur. De l'irrégularité de la couche de charbon sur la grille et surtout de son manque d'homogénéité, résultent un manque d'air sur les points fortement chargés et où le charbon est menu, et un excès d'air sur ceux qui ne sont pas assez chargés et où le charbon est gros. Si l'on emploie le rouable pour égaliser la couche de charbon, le fourneau reste ouvert pendant plus longtemps, et il en résulte l'inconvénient ci-après.

3° Nécessité d'ouvrir les portes pour le chargement, pour opérer le décrassage, pour égaliser le combustible, pour décoller les mâchefers ou briser les morceaux de combustible qui se collent. Il en résulte l'introduction dans le fourneau de grandes masses d'air froid, et par suite un abaissement général de la température du foyer et des courants de flamme.

Les inventions ayant pour objet de remédier aux inconvénients ci-dessus sont très nombreuses; mais, en marine, on n'a guère essayé que les grilles *Tailfer*. Le système est constitué par de petits barreaux articulés, réunis de manière à former une chaîne sans fin que supportent deux rouleaux. Un mécanisme empruntant son mouvement à la machine ou à un moteur auxiliaire, le fait avancer vers l'autel; le charbon est brisé en petits morceaux et versé sur cette grille par une trémie. L'épaisseur de la couche est déterminée par le degré d'ouverture de la porte, qui se meut à cet effet dans une coulisse verticale, et la vitesse de la grille est réglée de telle sorte que le charbon soit consommé, lorsque le mouvement de translation a amené près de l'autel le point de la grille sur lequel il est tombé. Les cendres et les escarbilles sont tout naturellement déversés dans le cendrier par le renversement de la grille.

Avec ce système, il n'y a plus à ouvrir la porte du fourneau ni à effectuer l'opération de décrassage; mais, outre la complication de mécanisme, il existe un grand inconvénient : le charbon brûle à mesure qu'il avance, de sorte que l'épaisseur de la couche diminue depuis l'entrée du fourneau jusqu'à l'autel, le fond de la grille est toujours insuffisamment garni, et il passe une quantité notable d'air en excès; si pour éviter cet inconvénient on augmente l'ouverture de la porte du fourneau, la grille s'engorge et l'air fait alors défaut. —

Bien que le système *Tailfer* ait donné de bons' résultats dans quelques essais, son emploi ne s'est pas généralisé pour la marine.

Considérée à une autre point de vue, la combustion de la houille se ferait dans de meilleures conditions si le combustible frais pouvait être placé au-dessous de la couche incandescente du coke qui reste sur la grille au moment du chargement, au lieu d'être au-dessus comme dans nos foyers ordinaires. On aurait en effet, plus de chance pour brûler d'une façon complète les gaz du charbon, et surtout la quantité notable qui se dégage lors du chargement. Des essais dans cet ordre d'idées ont été tentés. On a proposé des foyers à flamme renversée, disposés de façon que le chargement se fasse par la partie supérieure de la grille. Le foyer étant en dessous, n'a besoin d'être ouvert que pour retirer les escarbilles, c'est le système proposé par *Hellmann ;* il est complété par l'adjonction d'une grille inférieure sur laquelle les escarbilles achèvent de se brûler, et qui reçoit l'air d'un petit cendrier. Mais ce système n'est applicable qu'aux grilles de peu d'étendue,et aux foyers construits en maçonnerie, et par suite extérieurs aux chaudières.

Cutler et Arnott ont proposé de modifier le foyer ordinaire, par l'adjonction d'une vis d'Archimède emboîtée dans un tube prolongeant inférieurement une grille courbe. Cette vis animée d'un mouvement de rotation, prend le charbon dans une caisse placée dans le cendrier, et l'élève dans le foyer ou elle l'étend sur la grille. On ne remonte la couche que de temps à autre, au moyen d'un mécanisme à engrenage manœuvré à la main. Ce système, comme le précédant, n'est applicable qu'aux grilles de peu d'étendue, et surtout aux foyers construits en maçonnerie.

Pour les chaudières marines, les appareils mécaniques de chargement, quels qu'ils soient, donneront toujours des résultats médiocres, parce que la régularité de marche et la stabilité font complètement défaut à bord. Il faut chercher à améliorer la combustion par de meilleures proportions de la grille facilitant les opérations du déchargement et du décrassage. A ce point de vue, il conviendrait d'avoir des grilles larges et de peu de longueur, avec des portes de foyer fractionnées, le cendrier étant lui-même partagé en compartiments par des cloisons longitudinales. Malheureusement, les conditions de solidité des chaudières actuelles à haute pression, et surtout le peu de place qui leur est réservée à bord, ne permettent pas de modifier d'une manière notable les proportions actuelles des fourneaux. On est, par suite, obligé de conserver le mode actuel de conduite des feux. Mais on doit chercher à l'améliorer par un lavage et un triage plus complets du charbon destiné à fabriquer les briquettes, et par la confection de briquettes de dimensions telles que le charbon puisse être mis tel quel sur le grille, sans qu'il soit besoin de le briser. On pourrait alors essayer d'effectuer le chargement au moyen d'une large pelle à

deux manches que l'on introduirait rapidement dans le fourneau, et que l'on viderait par un mouvement brusque de retrait. L'opération étant faite en plusieurs reprises pour garnir toute la longueur de la grille, la porte du fourneau pourrait être tenue fermée pendant le temps employé à mettre le charbon sur la pelle. Mais ce dernier moyen ne serait encore praticable que si l'on pouvait diminuer la longueur de la grille, car le chargement du fond sera toujours très-difficile.

N° 58. — 1. Conductibilité des parois des chaudières : influence de la nature et de l'épaisseur du métal. — 2. Rôle et rendement de la surface de chauffe : distinction entre les différentes parties de cette surface; moyens d'obtenir le meilleur rendement. — 3. Chambre à eau; meilleures dispositions à adopter. — 4. Chambre à vapeur et orifice des tuyaux de vapeur ; meilleures dispositions à adopter. — 5. Épaisseur du métal des chaudières sous le rapport de leur résistance. — 6. Conditions d'établissement des chaudières au point de vue des explosions. — 7. Résumé des dispositions les plus avantageuses à adopter pour les chaudières.

N° 58_1 Conductibilité des parois des chaudières : influence de la nature et de l'épaisseur du métal. — Le rendement d'une chaudière dépend de sa conductibilité, c'est-à-dire de la facilité plus ou moins grande avec laquelle ses parois reçoivent la chaleur et la transmettent à l'eau ou à la vapeur. Cette transmission est un phénomène complexe ; il faut d'abord que la chaleur passe du foyer à la face externe des parois, puis que cette chaleur traverse les parois, et enfin qu'elle soit communiquée de la face interne à l'eau ou à la vapeur. Il en résulte que la quantité de chaleur transmise à l'eau ou à la vapeur dépend en réalité de trois coefficients distincts :

1° D'un coefficient k_1, qui représente la quantité de chaleur transmise à la paroi soit par rayonnement, soit par le contact direct des gaz chauds.

2° D'un coefficient k_2, qui représente le pouvoir de conductibilité de la paroi.

3° D'un coefficient k_3, qui représente le pouvoir de conductibilité, ou plus exactement le pouvoir absorbant de l'eau ou de la vapeur.

Soit :

K le coefficient de conductibilité de l'ensemble des surfaces de chauffe;
T_1 la température moyenne du foyer et des gaz de la combustion.
To la température de la vapeur.
t, t' les températures des faces externe et interne des parois.

Les quantités de chaleur qui passent de la source de calorique aux faces intérieures du foyer, à travers les tôles, et de ces dernières à l'eau ou à la vapeur, sont forcément égales entre elles; et l'on a pour mesure de la quantité de chaleur passée par mètre carré de surface et dans l'unité de temps :

$$k_1\left(T_1-t\right)=k_2\left(t-t'\right)=k_3\left(t'-T_0\right)=K\left(T_1-T_0\right);$$

d'où :

$$\left(T_1-t\right):\left(t-t'\right):\left(t'-T_0\right):\left(T_1-T_0\right)=\frac{1}{k_1}:\frac{1}{k_2}:\frac{1}{k_3}:\frac{1}{K}.$$

Et d'après un principe connu des proportions :

$$\left(T_1-T_0\right):\left(\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\frac{1}{k_3}\right)=\left(T_1-T_0\right):\frac{1}{K};$$

d'où l'on tire :

$$K=\frac{1}{\frac{1}{k_1}+\frac{1}{k_2}+\frac{1}{k_3}}.$$

Il résulte d'expériences faites à *Indret*, et citées par M. *Audenet*, que le coefficient K peut être évalué à 100 calories par heure et par mètre carré de la surface de chauffe *directe* qui, outre le contact des gaz chauds, est soumise au rayonnement énergique du combustible incandescent, et seulement à 23 calories par heure et par mètre carré de la surface tubulaire qui n'est chauffée que par le contact des gaz. Ce dernier chiffre ne convient qu'aux chaudières qui, comme celles de la marine, ont une surface de chauffe directe égale à 5 fois la surface de grille (n° 58_2), et une section tubulaire égale à 0,15 de cette surface de grille.

Les résultats ci-dessus, trouvés par expérience, sont très-faibles comparativement au coefficient de conductibilité des parois de la chaudière. Le coefficient de conductibilité du fer est de 28.800 calories; c'est-à-dire que cette quantité de chaleur passe dans une heure à travers une surface de un mètre carré ayant un millimètre d'épaisseur, et pour une différence de température des faces égales à 1°. Pour une tôle de 12^{mm}, qui est l'épaisseur ordinaire des foyers, on a pour la surface de chauffe directe :

$$k_2=\frac{28800}{12}=2.400 \text{ calories}.$$

Le coefficient k_2 est donc beaucoup plus grand que celui qui représente la conductibilité absolue de la chaudière; il en résulte que les

coefficients inconnus k_1 et k_3 doivent être très-faibles, ainsi, de $k_2 = 2400$ et de $K = 100$, on déduit :

$$\frac{1}{k_2} = 0,0004, \text{ et } \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3} = 0,0096;$$

d'où :

$$\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3} = \frac{1}{k_2} \times 24.$$

De la grande infériorité de $\frac{1}{k_2}$ par rapport à $\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_3}$, il résulte que les variations que l'on pourrait faire subir à $\frac{1}{k_2}$ ne se feront sentir que très-faiblement sur le coefficient K. En construisant les chaudières avec un métal dont le coefficient k_2 serait double de celui du fer, on aurait :

$$\frac{1}{k_2} = 0,0002;$$

et par suite :

$$\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} = 0,0098;$$

d'où l'on déduirait $K = 102$, au lieu de 100 qui est sa valeur pour le cas du fer. On ne gagnerait donc que 2 p. 100 sur la valeur de K, en employant un métal deux fois meilleur conducteur. C'est d'ailleurs ce que confirme l'expérience : deux chaudières, l'une en fer et l'autre en cuivre, donnent en pratique les mêmes résultats, bien que la conductibilité du cuivre soit environ deux fois et demie plus grande que celle du fer.

L'augmentation de la production de vapeur dans un temps donné doit par suite être recherchée en dehors de la nature du métal, et même de son épaisseur. En pratique, l'on peut considérer les deux faces, l'une externe et l'autre interne, de la paroi comme étant à la même température, pourvu que le métal ne soit pas isolé de l'eau par une couche de calcaire de plus de 1 millimètre d'épaisseur, et l'on doit chercher à rendre plus facile le passage de la chaleur du foyer aux parois, et des parois à l'eau et à la vapeur. Or les liquides et les gaz sont mauvais conducteurs, et ne s'échauffent que par circulation ; et à ce point de vue, le seul moyen à employer pour augmenter la conductibilité des chaudières consiste à trouver des dispositions qui

facilitent le renouvellement de l'eau qui vient au contact des surfaces de chauffe. Tous les essais tentés dans ce sens n'ont pas donné, jusqu'à présent, des résultats d'une supériorité marquée sur ceux que l'on obtient avec les chaudières tubulaires construites et proportionnées, quant aux espaces réservés à l'eau, comme le sont ordinairement celles de la marine.

Il est évident que, sans augmenter la valeur du coefficient de conductibilité, on accroîtra la quantité de chaleur transmise par unité de surface et dans l'unité de temps, en élevant la température T_1 de la source de chaleur. C'est ce qui a lieu lorsque le tirage est activé (n° 57$_4$) soit par un jet de vapeur ou d'air dans la cheminée, soit par l'injection d'air sous la grille. On peut ainsi accroître dans de très-grandes proportions (n° 57$_4$) la quantité de vapeur obtenue dans un temps donné. Mais ce moyen impose aux parois du foyer une augmentation de fatigue dont il faut tenir compte dans la construction, en proscrivant d'une manière absolue les coutures rivetées qui comportent une double épaisseur de tôle, et en construisant les foyers comme dans les chaudières cylindriques (n° 59$_1$).

N° 58$_2$ Rôle et rendement de la surface de chauffe. Distinction entre les différentes parties de cette surface; moyens d'obtenir le meilleur rendement. — La surface de chauffe ne joue en quelque sorte qu'un rôle indirect : elle n'a qu'à transmettre par heure la quantité de chaleur nécessaire à la production du poids déterminé de vapeur que la chaudière est appelée à fournir dans ce temps. Or la surface de chauffe ne reçoit pas la chaleur de la même manière sur toute son étendue. Il y a bien partout contact des gaz chauds formant les produits de la combustion; mais les ciels et les côtés des foyers, ainsi que les parois de la boîte à feu forment des parties soumises en outre au rayonnement direct, soit du combustible incandescent sur la grille, soit de la flamme; ces surfaces se désignent sous le nom de surface de chauffe directe. Pour les tubes et la boîte à fumée, que l'on désigne sous le nom de surface de chauffe indirecte, ce rayonnement est presque toujours très-faible, car la flamme se développe très-peu dans ces parties des conduits.

Le point où le rayonnement est le plus intense est le foyer; les quantités de chaleur rayonnées qui sont absorbées par unité de surface, sont inversement proportionnelles à la distance des surfaces

considérées au combustible; mais avec les foyers intérieurs, la quantité de chaleur rayonnante reçue par le foyer peut être considérée comme proportionnelle à l'étendue de la grille.

Dans la boîte à feu, le rayonnement est déjà moins intense; la partie inférieure du fond reçoit encore un peu de la chaleur rayonnée par le foyer; mais tout le reste de la surface ne reçoit que le rayonnement de la flamme.

Les quantités de chaleur rayonnante reçues par mètre carré de la surface de chauffe diminuent à mesure que l'on s'éloigne du foyer, et il doit en être de même du rendement, c'est-à-dire de la quantité de chaleur que cette même surface transmet à l'eau. — Sur un même point du parcours des produits de la combustion, le rendement varie suivant la position des surfaces que l'on considère. Ainsi, dans le foyer lui-même, le rendement du ciel du foyer est plus élevé que celui des côtés, parce que le ciel est exposé à un rayonnement plus direct. — Dans la boîte à feu, la plaque du fond et la plaque de tête ont un rendement plus élevé que les côtés. — Dans le faisceau tubulaire, les tubes du haut sont plus échauffés que ceux du bas, que traverse de préférence la fumée en raison de sa plus grande densité relative. Enfin, dans un même tube, la partie haute a un rendement plus élevé que les côtés, et ceux-ci ont un rendement plus élevé que le bas.

Au point de vue de l'absorption du calorique rayonnant, les grands foyers à ciel plat sont les plus avantageux; mais cette forme est inadmissible pour les hautes pressions, et la forme cylindrique convient seule. L'étendue de la surface de chauffe directe, par rapport à la surface de grille, est à peu près indifférente, du moins dans des limites assez larges. Ainsi, d'après les expériences faites à *Indret* et citées par M. *Audenet*, on a obtenu avec une chaudière $4^{kg},77$ et avec une seconde $4^{kg},80$ de vapeur par kilogramme de charbon brûlé, les surfaces de chauffe étant directes dans les deux cas, et valant 5 fois la surface de grille dans le premier appareil, et 10 fois cette même surface dans le second. Il n'est question ici que de la surface exposée directement au rayonnement du foyer; et l'on voit que le coefficient de conductibilité pratique de cette surface est deux fois plus grand dans le premier cas que dans le second, et qu'on ne peut avoir de terme de comparaison sérieux qu'en prenant ce pouvoir de conductibilité par rapport à la surface de grille au lieu de le prendre par rapport à la surface de chauffe. — Du résultat de ces expériences,

M. *Audenet* a conclu que le coefficient de conductibilité de la surface de chauffe directe exposée au rayonnement du foyer, est de 500 calories par heure et par *mètre carré de grille.*

Si pour une valeur donnée de la surface de grille, l'étendue de la surface de chauffe directe a peu d'importance, il n'en est pas de même du volume libre au-dessus de la grille et du volume de la boîte à feu. Il faudrait en effet, pour la meilleure utilisation du charbon, que la combustion des gaz fût complète avant leur introduction dans les tubes ; or cette combustion n'est jamais achevée dans le fourneau, même en donnant de très-grandes dimensions à la chambre au-dessus de la grille, et c'est dans la boîte à feu qu'elle doit se terminer. Malheureusement il n'en est jamais ainsi en pratique, et une bonne partie des gaz combustibles passe dans les tubes avant d'être brûlée.

Les tubes à fumée d'un petit diamètre, comme ceux des chaudières, ont l'avantage de présenter, sous le même encombrement total, une surface de chauffe plus grande; mais ils n'absorbent pas autant de chaleur que pourraient le faire supposer leur étendue totale et la valeur élevée du pouvoir de conductibilité de leur métal. Les gaz qui pénètrent dans les tubes cheminent en filets parallèles jusqu'à la sortie; les portions de ces gaz en contact avec les tubes se refroidissent bien; mais comme elles forment toujours la partie extérieure de la veine gazeuse, elles constituent une gaîne mauvaise conductrice pour la chaleur des gaz qui sont dans l'axe des tubes; et finalement la masse totale arrive à la cheminée sans s'être dépouillée d'une quantité suffisante de chaleur. C'est ce qui explique la valeur si faible du coefficient de conductibilité de la surface de chauffe indirecte, qui, d'après M. *Audenet*, n'est que de 23 calories par heure et par mètre carré de cette surface.

M. *Graham* a fait des expériences, en *Angleterre*, avec trois chaudières cylindriques à bouilleurs placées l'une sur le foyer et représentant la surface de chauffe directe, les deux autres à la suite et représentant les surfaces de chauffe indirecte à diverses distances du foyer. On a ainsi trouvé que les pouvoirs vaporisateurs de ces chaudières, par mètre carré de surface de chauffe et par heure, étaient :

		Nombres proportionnels.
Pour la première	74kg,50	100
Pour la seconde.	25kg,85	35
Pour la troisième	11kg,92	16

On voit combien la décroissance est rapide et quel intérêt il y a à augmenter la surface de chauffe directe, et par suite l'étendue de la grille, puisque, en fin de compte, la quantité de chaleur transmise à cette surface de chauffe est proportionnelle à cette étendue.

Influence de la surface de la grille sur la production de vapeur. — Voici le résumé des expériences faites par M. *Joëssel à Indret*, sur la chaudière d'essai avec tirage activé par un jet de vapeur.

Les charges par mètre carré qui ont donné la plus grande utilisation ont été :

Avec la grille entière	172kg.
Avec la grille réduite à moitié	125kg.
Avec la grille réduite au tiers	100kg.

Ces nombres indiquent la puissance normale de la chaudière dans les trois cas (la surface de chauffe restant la même).

Ces résultats ont été formulés géométriquement comme suit : *En augmentant ou en diminuant l'étendue de la grille, sans toucher à la surface de chauffe, aux sections de passage de l'air et de la fumée, la puissance de la chaudière augmente ou diminue proportionnellement à la racine carrée de la surface de grille.*

Influence de la surface de chauffe. — Avec la même chaudière, la grille réduite au tiers, on a disposé dans les tubes à feu et à fumée des écrans transversaux, de manière à obliger les gaz à faire un double retour à travers les tubes, ce qui doublait la longueur de leur parcours total dans la chaudière. Comme précédemment, le tirage étant activé par le même jet de vapeur, on a constaté une augmentation notable de l'utilisation du combustible, mais une diminution bien plus grande de la puissance de la chaudière.

Ainsi, par rapport au cas de la grille réduite au tiers, mais sans écrans dans les courants de flamme,

l'utilisation est devenue . . . . $\frac{10,80}{8,36} = 1,29$;

la puissance est devenue. . . . . $\frac{7,05}{8,36} = 0,84$.

Cette augmentation d'utilisation et cette diminution de puissance résultent évidemment de la plus faible vitesse de translation des gaz, résultant de la plus grande longueur des courants de flamme.

N° 58_3 Chambre à eau ; meilleures dispositions à adopter. — La chambre à eau, c'est-à-dire la partie de la chaudière qui renferme l'eau à vaporiser, doit être considérée au point de vue de sa contenance et au point de vue de sa disposition.

Le volume de la chambre à eau doit être tel que toute la surface de chauffe étant couverte, le niveau s'élève d'une certaine quantité au-dessus des parties les plus hautes de cette surface de chauffe. Cela est nécessaire afin que la moindre dénivellation accidentelle n'expose pas à rougir les tôles et à les brûler. D'autre part, le volume total de l'eau doit être tel, par rapport à la quantité de vapeur à fournir, que le renouvellement de cette eau ne se fasse pas trop rapidement ; on prévient de cette façon les alternatives d'abaissement et d'élévation de température, d'où résulterait une vaporisation très-irrégulière, voire même des ébullitions et des projections d'eau.

Au point de vue de sa disposition, la chambre à eau doit présenter une surface de niveau aussi grande que possible afin de diminuer, pour un même poids de vapeur à fournir, la vitesse d'émersion de cette vapeur, et par suite les chances d'entraînement d'eau. D'autre part, les lames d'eau doivent être disposées pour que le renouvellement du liquide en contact avec les surfaces de chauffe se fasse avec facilité, et qu'il en soit de même du dégagement de la vapeur ; on évite ainsi la formation des chambres de vapeur, et par suite la brûlure des tôles.

Rapporté au mètre carré de grille, le poids des chaudières marines réglementaires du type haut est de 5.000^{kg} en nombre rond, tant pour les chaudières à moyenne pression que pour les chaudières cylindriques à haute pression. Le poids d'eau y vaut 2.000^{kg} dans les premières chaudières et s'élève à 2.400^{kg} dans les secondes ; tandis que dans les chaudières à tube d'eau système *Belleville*, le poids de la chaudière étant de 4.200^{kg}, celui de l'eau s'élève seulement à 250^{kg} par mètre carré de grille.

A raison de 90^{kg} de charbon brûlé par heure et par mètre carré de grille et avec une production de vapeur de 8^{kg} par kilogramme de charbon, la dépense totale d'eau par heure est de $90 \times 8 = 720^{kg}$. Il en résulte que dans les chaudières à moyenne pression l'eau est renouvelée toutes les $\frac{2000}{720} = 2^h\,46^m$, et toutes les $\frac{2400}{720} = 3^h\,20^m$ dans les chaudières cylindriques. Pour les chaudières *Belleville*, le renouvellement de l'eau est effectué toutes les $\frac{250}{720} = 0^h 21^m$.

Les chambres à eau volumineuses ont l'avantage de servir de volant, pour modérer les variations de pression qui résultent forcément des irrégularités de la chauffe, parce que la température de l'eau augmente ou diminue en même temps que la pression de la vapeur. Dans le premier cas, l'eau absorbe de la chaleur en même temps que la pression s'élève ; dans le second cas, cette eau restitue de la chaleur à mesure que la pression diminue, et le calorique devenu libre forme de la vapeur. Dans les deux cas, la masse d'eau est un modérateur des variations de la pression. Les grandes chambres à eau permettent en outre de fonctionner pendant un certain temps sans alimentation, et sans courir le risque de découvrir les surfaces de chauffe. Par contre, elles ont l'inconvénient de rendre les chaudières plus encombrantes et plus lourdes, et d'exiger beaucoup plus de temps pour la mise en pression.

Avec les chambres d'eau réduites, on obtient plus rapidement la pression lors de l'allumage, et les chaudières sont moins encombrantes et moins lourdes ; mais les variations de température et par suite de pression sont beaucoup plus fréquentes et beaucoup plus accentuées ; enfin l'alimentation doit être continue, sous peine de découvrir les surfaces de chauffe. — Un grand volume donné au réservoir de vapeur ne corrigerait pas les variations de pression résultant d'un faible volume d'eau : car la différence des quantités de chaleur absorbées par 1^{kg} de vapeur pour une différence de pression atteignant même une atmosphère, n'est pas considérable ; elle ne vaut en effet que les 0,305 de la différence des températures qui correspondent aux pressions que l'on considère (n° 7_2).

A ces divers points de vue, le poids d'eau des chaudières à tubes d'eau système *Belleville* est certainement un peu faible ; aussi ce poids a-t-il été récemment augmenté par l'adjonction d'un réservoir cylindrique qui l'a plus que doublé ; mais, d'un autre côté, le poids de 2.000^{kg} d'eau par mètre carré de grille des chaudières tubulaires est certainement élevé, et il y aurait tout intérêt à le réduire. Toutefois cette diminution est subordonnée à certaines conditions de conservation et même de sécurité. Ainsi, avec nos chaudières ordinaires, il est nécessaire de pouvoir fonctionner un certain temps sans alimenter ; il faut donc que le niveau puisse baisser pendant ce temps sans découvrir les surfaces de chauffe les plus élevées. Si l'on fixe à un quart d'heure, au maximum, le temps de ce fonctionnement sans alimentation, le poids de l'eau disparue, par mètre carré de grille, aura pour

valeur $\frac{8^{kg} \times 90}{4} = 180^{kg}$; et en tenant compte de la bande possible, on reconnaît qu'à bord il ne faut pas moins de 250^{kg} d'eau par mètre carré de grille au-dessus des surfaces à protéger.

D'un autre côté, il faut que les lames d'eau soient assez larges non-seulement pour faciliter le renouvellement de l'eau, mais surtout pour que l'on puisse effectuer les nettoyages.

Dans les chaudières tubulaires ordinaires, la surface de chauffe totale est d'environ 30 fois la surface de grille, et 1/6e de cette valeur constitue la surface de chauffe directe : on ne peut guère compter avoir moins de 500^{kg} d'eau pour recouvrir toute cette surface, ce qui donne 1 décimètre d'épaisseur autour de la surface de chauffe directe et 1 centimètre autour de la surface de chauffe tubulaire. Le chiffre de $500 + 250 = 750^{kg}$ d'eau par mètre carré de grille est, par suite, un minimum correspondant aux chaudières tubulaires ordinaires. Avec ce volume, l'eau des chaudières serait renouvelée toutes les heures, et ce volume serait suffisant pour éviter de grandes oscillations de pression, surtout avec des feux bien conduits. Il résulterait d'une pareille réduction de la chambre à eau une diminution de 1.200^{kg} par mètre carré de grille, et une diminution correspondante du volume total de la chaudière ; soit, en fin de compte, une diminution d'environ 20 p. 100 sur le poids total.

Avec les chaudières à tubes renfermant l'eau, comme les chaudières *Belleville*, le poids d'eau peut être moins élevé, parce qu'il y a dans chaque tube ou dans chaque série de tubes entraînement d'eau par la vapeur sur des surfaces de chauffe situées bien au-dessus du point qu'accuse le niveau. Toute la question consiste d'abord à bien régler l'alimentation pour qu'elle se fasse d'une manière uniforme, et d'autre part dans la répartition régulière de cette eau entre tous les tubes.

N° 58₄ Chambre à vapeur et orifice du tuyau de vapeur ; meilleures dispositions à adopter. — La chambre à vapeur a pour but de réduire à de faibles valeurs les variations de pression qui résultent de l'introduction intermittente dans les cylindres. La capacité de la chambre à vapeur n'est limitée que par les restrictions d'encombrement et de poids imposées à la chaudière. En principe, plus la chambre à vapeur est grande comparativement au volume de vapeur à dépenser par heure, plus elle est avantageuse. Avec une chambre à vapeur réduite, les différences de pression correspondant au commen-

cement et à la fin de l'introduction dans les cylindres, peuvent être assez sensibles pour déterminer des ébullitions et même des projections d'eau.

Rapporté au mètre carré de grille, le volume total du réservoir de vapeur est de $1^{m.cub},70$ pour les chaudières à moyenne pression type haut, de $1^{m.cub},51$ pour celles du type bas, et de $1^{m.cub},65$ pour les chaudières cylindriques à haute pression, type haut. Ce volume est un peu faible pour les chaudières du type bas qui desservent des machines à allure rapide, car il s'y produit des entraînements d'eau toutes les fois qu'il faut pousser les feux un peu activement. En admettant une production de 8^{kg} de vapeur par kilogramme de combustible, et en brûlant 90^{kg} de charbon par mètre carré de grille et par heure, les chaudières fonctionnant à 3^{at} de pression absolue fournissent par heure (table I du *tome premier*) :

$$0^{m.cub},5874 \times 8 \times 90 = 422^{m.cub},928 \text{ de vapeur.}$$

Les chaudières fonctionnant à 5^{at} fournissent par heure :

$$0^{m.cub},3636 \times 8 \times 90 = 261^{m.cub},792 \text{ de vapeur.}$$

Par suite dans une heure, le coffre à vapeur des chaudières à moyenne pression se vide $\frac{422,928}{1,70} = 248$ fois en nombre rond, pour les chaudières du type haut, et $\frac{422,928}{1,51} = 280$ fois pour les chaudières du type bas à moyenne pression. Pour les chaudières cylindriques à haute pression, le coffre à vapeur se vide $\frac{261,792}{1,65} = 159$ fois seulement dans une heure.

On voit, en comparant ces résultats avec les volumes de vapeur par mètre carré de grille, que l'on pourrait commettre des erreurs grossières, en comparant des appareils qui fonctionnent à des pressions différentes et en rapportant le volume de vapeur à la surface de grille. C'est par rapport au volume de fluide à dépenser dans une heure que le volume de la chambre à vapeur doit être déterminé. A ce point de vue, les chaudières cylindriques à haute pression sont très-largement proportionnées. Quant aux chaudières tubulaires à moyenne pression du type haut, non munies de sécheurs, l'expérience prouve que le volume de leur chambre à vapeur est juste suffisant; cette chambre se vide toutes les 14 à 15 secondes ; pour les chaudières cylindriques, la chambre à vapeur se vide toutes les 22 secondes seulement.

La réduction de la chambre à vapeur proprement dite peut être

atténuée, au point de vue des variations de la pression, par l'adjonction d'un réservoir de vapeur, que l'on peut faire cylindrique, et indépendant de la chaudière; mais c'est un nouvel intermédiaire entre les générateurs et la machine, qui occasionne une augmentation de la chute de pression entre la chaudière et le cylindre, à moins qu'on ne le munisse de larges communications avec la chambre à vapeur proprement dite. D'un autre côté, il faut supprimer le sécheur. Cette suppression n'a d'ailleurs aucun inconvénient avec les pressions élevées, pourvu que l'on prenne des précautions pour éviter les entraînements d'eau.

Ces entraînements résultent de la vitesse d'émersion de la vapeur; pour un poids donné de fluide à produire par heure, cette vitesse est inversement proportionnelle à la surface du niveau et à la densité de la vapeur. Par suite, les entraînements d'eau sont moins à craindre, quand par ailleurs la chambre à vapeur a un volume suffisant, lorsque la surface du niveau est grande et lorsque la pression est élevée. — L'écoulement de la vapeur par l'orifice de sortie tend à créer une dépression, qui se fera sentir à peu près également sur tous les points de la surface du liquide, si cet orifice est très-éloigné de cette surface. Dans le cas contraire, la dépression sera surtout sensible sur les points voisins de l'orifice de sortie, et il pourra se produire des entraînements. La prise de vapeur doit, par suite, être placée tout à fait au sommet de la chambre de vapeur, et autant que possible vers la partie centrale. Au besoin, le tuyau de vapeur doit être prolongé intérieurement, pour aboutir au point que nous venons d'indiquer. On pourrait encore et surtout avec les pressions élevées, pour ne pas diminuer la résistance de la chaudière en perçant un large orifice, diviser la prise de vapeur en une série d'orifices munis de tuyaux aboutissant à la soupape d'arrêt. En distribuant ces orifices sur toute l'étendue de la surface de l'eau, on aurait une prise de vapeur uniforme sur tous les points de cette surface. La section totale de ces orifices peut être plus grande que la section unique de la soupape d'arrêt; et suivant les dispositions, il peut être nécessaire de donner à ces sections des valeurs particulières, variables en sens inverse de leur distance au tuyau commun.

Avec les appareils à tube d'eau, du genre des chaudières *Belleville*, le volume de la chambre à vapeur est toujours très-restreint; néanmoins les entraînements d'eau sont peu à craindre, parce qu'une grande portion de la surface de chauffe est en contact direct avec la vapeur, de sorte que l'eau entraînée se trouve vaporisée avant sa

sortie de la chaudière ; il en résulte même, lorsque le niveau est faible, une surchauffe exagérée. Toutefois, même avec ce genre d'appareil, la nécessité d'un réservoir de vapeur se fait sentir, et il a été installé sur les nouveaux types.

N° 58$_3$ Epaisseur du métal des chaudières sous le rapport de la résistance. — La forme cylindrique est celle qui convient le mieux à un récipient exposé à une pression intérieure, parce que cette forme ne tend pas à s'altérer par l'effet de la pression ; elle dispense des armatures et des entretoises destinées à maintenir cette forme, et conduit, en fin de compte, à l'épaisseur et au poids minimum. Aussi la forme cylindrique est-elle adoptée pour les chaudières à haute pression. — En représentant par :

e l'épaisseur du métal en centimètres.
P la pression à supporter, en *Kg* par *cm.c.*
D le diamètre de la chaudière en centimètres.
R l'effort de traction en Kg par *cm.c* que l'on peut faire supporter au métal avec sécurité.

On a (N° 129$_3$ du *G^d Traité*):

$$e^{cm} = \frac{P^{kg} \times D}{2R} + \alpha.$$

α est une quantité dont il faut augmenter l'épaisseur *e*, pour tenir compte de certains défauts d'homogénéité du métal et de l'usure, et qui vaut en particulier pour le fer, $0^{cm},3$.

Pour les chaudières construites en tôle, la valeur de R est de 3.500^{kg} correspondant à la charge de rupture sur 1 centimètre carré, soit de 500^{kg} seulement pour l'effort de sécurité (1/7e de la charge de rupture). — Mais la chaudière n'est pas d'un seul morceau ; elle est formée de plusieurs feuilles de tôle réunies par des rivets. Or, avec un rang de rivets, la résistance du joint ne vaut que les 0,55 de celle de la tôle ; cette résistance monte à 0,75 lorsque la couture est faite avec deux rangs de rivets. On a alors pour les chaudières cylindriques, les coutures étant faites avec un rang de rivets :

$$e^{cm} = \frac{P \times D}{2 \times 500 \times 0,55} + 0,3 = 0,0018\,PD + 0,3;$$

et lorsque les coutures sont faites avec deux rangs de rivets :

$$e^{cm} = \frac{P \times D}{2 \times 500 \times 0,75} + 0,3 = 0,00133\,PD + 0,3.$$

Pour les chaudières type haut de la marine, on a $D=360^{cm}$, $P=4^{k}$, et par suite :

$$e^{cm}=0,00133\times 360\times 4+0,3=2^{cm},215,$$

soit 22 millimètres, qui est l'épaisseur adoptée par l'usine d'*Indret*.

Pour les fourneaux cylindriques qui supportent une pression extérieure, la valeur de R ne peut être déterminée que par voie de comparaison, parce qu'elle dépend surtout de la perfection plus ou moins grande de l'exécution du travail. Les inégalités de résistance provenant des variations dans l'épaisseur du métal, ou de la mauvaise confection des coutures, déterminent d'abord la déformation, puis l'écrasement ; or ces effets ne peuvent être déterminés *à priori*. Toutefois, en admettant que tous les cylindres à comparer présentent, dans la même proportion, les mêmes variations d'épaisseur, les épaisseurs seront proportionnelles aux carrés des diamètres et l'on pourra poser :

$$PD^2=K^2e^2;\ \text{d'où en posant}\ k=\frac{1}{K},\quad e=kD\sqrt{P},$$

K^2 étant le rapport $\frac{PD^2}{e^2}$ pour un fourneau connu.

En partant de ce qui se fait en Angleterre, pour les chaudières à conduit de flamme intérieur cylindrique, et en se servant pour déterminer leur résistance limite des données recueillies lors de l'explosion de certaines de ces chaudières, M. *Audenet* a été conduit à admettre que pour les tubes formés de feuilles de tôle réunies par un rang de rivets, il faut faire $k=0,0052$. — D'après les dimensions adoptées par l'usine d'*Indret* pour les fourneaux des chaudières cylindriques du type haut, et en supposant que l'on ait ajouté 3 millimètres pour l'usure, on a $k=0,0045$. Il convient d'ajouter que ces fourneaux n'ont qu'une couture longitudinale, et qu'ils sont considérablement renforcés par la rondelle de jonction sur le milieu ou à peu près de leur longueur, et par les cornières qui fixent les extrémités à la chaudière. En résumé, pour les tuyaux d'une certaine longueur, avec couture par un seul rang de rivets, on peut poser :

$$e^{cm}=0,0052\,D\sqrt{P}+0,3.$$

Et pour les fourneaux cylindriques construits comme ceux d'*Indret* (n° 60_3).

$$e^{cm}=0,0045\,D\sqrt{P}+0,3.$$

D est ici le diamètre intérieur, correspondant à la surface sur laquelle s'exerce la pression.

Tirants et entretoises. Parois planes. — Lorsque les parois sont planes, comme dans les chaudières à moyenne pression, ou comme la façade et l'arrière des chaudières cylindriques, il est nécessaire de les maintenir soit au moyen d'armatures, soit au moyen de tirants ou d'entretoises reliant entre elles deux faces opposées. Les tirants ou les entretoises doivent être assez rapprochés pour limiter les déformations ; chacune de ces pièces doit résister à la pression supportée par la portion de surface qui lui correspond, comme si la tôle n'avait par elle-même aucune résistance. — Soient :

l l'espacement des tirants en centimètres.
d le diamètre des tirants en centimètres.
R l'effort en *Kg* par *cm.c* que l'on peut faire supporter au tirant avec sécurité.
P la pression exercée en *Kg* par *cm.c.*

La pression à laquelle le tirant est soumis doit être égale à l'effort qu'on peut lui faire supporter avec sécurité, et l'on a :

$$\frac{\pi d^2}{4} R = P l^2.$$

Et en prenant $R = 500^{kg}$ comme pour la tôle, on déduit de l'égalité ci-dessus :

$$d^{cm} = 0{,}05\, l \sqrt{P}.$$

Pour tenir compte de l'usure par la rouille, il faut ajouter 3 millimètres tout autour du tirant, soit 6 millimètres sur le diamètre. Pour les entretoises, il y a lieu d'ajouter en plus 4 millimètres sur le diamètre, pour tenir compte du fer enlevé par le filetage ; on aura alors :

$$\text{Pour les tirants : } d^{cm} = 0{,}05\, l\sqrt{P} + 0{,}6.$$
$$\text{Pour les entretoises : } d^{cm} = 0{,}05\, l\sqrt{P} + 1.$$

Il convient de réduire le plus possible la valeur de l, car les déformations sont moins sensibles quand les tirants sont nombreux, et, comme nous allons le voir, l'épaisseur qu'il est nécessaire de donner à la tôle diminue avec l. — En pratique, à cause des nécessités de visite et de nettoyage, la valeur de l est comprise entre 30^{cm} et 40^{cm} pour les tirants et entre 15^{cm} et 20^{cm} pour les entretoises qui sont dans des lames d'eau étroites.

Les deux formules ci-dessus, appliquées aux chaudières cylindriques d'*Indret*,

type haut, pour lesquelles $l^2 = 34 \times 35$ pour les tirants, $l = 20$ pour les entretoises et $P = 4^{kg}$, donnent :

Pour les tirants $d = 4^{cm},05$; le constructeur a fait $d = 5^{cm},0$.
Pour les entretoises $d = 3^{cm},00$; le constructeur a fait $d = 3^{cm},0$.

Le diamètre donné aux entretoises correspond bien aux résultats de la formule ci-dessus ; mais il y a un écart considérable pour les tirants. D'après le diamètre de $5^{cm},0$, et en supposant que l'on ait ajouté 6^{mm} pour l'usure, la formule employée par *Indret* serait : $d^{cm} = 0{,}064\, l\sqrt{P} + 0{,}6$; c'est-à-dire que la résistance des tirants a été prise inférieure à celle de la tôle. On a sans doute pour but de prévoir, par une augmentation du diamètre, une plus grande résistance que peuvent avoir à supporter quelques tirants par suite des irrégularités de leur ajustement, qui est loin de se faire avec la même facilité que pour les entretoises.

Les tôles soutenues par les tirants et les entretoises sont soumises à un effort de flexion, et, d'après M. *Audenet*, le carré de leur épaisseur doit être proportionnel au produit du carré de l'espacement des points d'appui par la pression exercée sur l'unité de longueur de cet espacement, ce qui se traduit par la relation :

$$l^2 P = e^2 K^2 ; \quad \text{d'où en posant } k^2 = \frac{1}{K^2}, \quad e^{cm} = k\, l\sqrt{P},$$

les lettres ayant la même signification que ci-dessus.

La valeur à donner à k doit, s'il est possible, être déduite d'expériences directes : car elle résulte moins de la résistance réelle de la tôle que de la manière dont elle travaille sous l'influence de la pression de la vapeur. Dans des expériences faites en Amérique sur une chaudière représentant une lame d'eau, construite avec de l'excellente tôle de $7^{mm},9$ d'épaisseur, tenue par des entretoises taraudées et rivées de 28^{mm}, espacées de 22^{cm}, on a obtenu l'explosion à une pression de 12^{kg} par *cm.c.* Il fut constaté qu'aucune entretoise ne s'était rompue ; mais que la tôle, qui s'était bombée de l'une à l'autre, avait subi un étirement tel que les trous dans lesquels les entretoises étaient primitivement vissées, s'étaient agrandis au point que la tôle avait décapelé en brisant la rivure des entretoises, mais sans détériorer les filets. Une aussi grande déformation peut être considérée comme équivalant à une rupture. La valeur de k déduite de ces expériences est de 0,01 ; mais dans la pratique, il ne faut faire supporter à la tôle que le septième de l'effort qui produit la rupture ; la valeur

de k à employer devra donc être de $0,01\sqrt{7}=0,026$; par suite, en ajoutant 3^{mm} pour l'usure, on aura :

$$\text{épaisseur des faces planes} \quad e^{cm}=0,026\, l\sqrt{P}+0,3.$$

Cette formule appliquée aux chaudières cylindriques d'*Indret* donne $e=1^{cm},34$. Le constructeur a fait $e=1^{cm},60$, c'est-à-dire qu'on a employé une valeur de $k=0,0325$, en supposant toujours que l'on ait ajouté 3^{mm} pour l'usure.

N° 58$_6$ Conditions d'établissement des chaudières au point de vue des explosions. — Une explosion (n°s 197 et 198 du *G^d Traité*) ne peut avoir lieu qu'autant que la pression excède la résistance de la chaudière; il faut, par suite, que la tension de la vapeur s'élève au delà de ce que la chaudière, supposée dans de bonnes conditions, peut supporter, le fonctionnement de la soupape de sûreté étant paralysé; ou bien que cette tension restant dans les limites prévues, l'appareil offre une insuffisance de solidité résultant de défauts de construction, de l'usure, ou de la diminution momentanée de la résistance de tôles soumises à un coup de feu.

Au point de vue de la construction, on préviendra les explosions :

1° En employant des matériaux de bonne qualité et ayant les dimensions voulues pour la pression qu'ils devront supporter.

2° En apportant le plus grand soin à la construction des chaudières, et principalement à la confection des coutures, et en ne coudant, autant que possible, les tôles que dans le sens du laminage, qui est celui pour lequel la tôle a le plus de résistance.

3° En donnant aux diverses parties de la chaudière la forme qui offre le plus de solidité au point de vue de la pression intérieure, et qui est la forme cylindrique ou arrondie.

4° Par une bonne disposition et par un espacement convenable des tirants, des armatures et des entretoises.

5° En évitant les doublements d'épaisseur des tôles, pour les parties qui sont directement exposées au feu.

6° En adoptant des dispositions intérieures qui facilitent le nettoyage et la visite de toutes les parties du générateur, et principalement de celles qui sont directement exposées au feu.

7° En déterminant la hauteur du niveau pour que toutes les surfaces qui peuvent être en contact avec la flamme soient recouvertes d'une couche suffisante d'eau, pour que l'on puisse marcher un certain temps sans qu'elles cessent d'être baignées, lors même que des causes accidentelles viendraient momentanément suspendre l'alimentation.

8° En disposant des lames d'eau assez larges, ou en les agençant de telle fa-

çon que le renouvellement de l'eau en contact avec les surfaces de chauffe se fasse avec facilité.

9° En installant des appareils indicateurs du niveau de l'eau, de telle sorte qu'il ne puisse jamais y avoir doute sur la position exacte du niveau.

10° En installant les soupapes de sûreté de telle sorte que leur fonctionnement ne puisse jamais être paralysé.

Ces précautions prises dans la construction, on sera à l'abri des explosions si l'on suit par ailleurs les règles de conduite énoncées au *chap.* VI. § 2 du *Grand Traité.*

La gravité des accidents résultant de déchirure, diminue en même temps que le volume d'eau que renferme la chaudière ; et, à ce point de vue, les chaudières formées d'un faisceau tubulaire, comme les chaudières *Belleville*, sont dans les meilleures conditions. On ne pourrait s'en rapprocher, avec les chaudières tubulaires ordinaires, qu'en fractionnant l'appareil évaporatoire en un grand nombre de petites chaudières, qui, tout en communiquant les unes avec les autres, pourraient être paralysées isolément. D'autre part, les soupapes d'arrêt et les soupapes de communication doivent être disposées de telle sorte que leur manœuvre puisse se faire avec facilité en cas d'avarie d'une des chaudières, et même en supposant que la chaufferie soit pleine de vapeur.

N° 58$_7$ Résumé des dispositions les plus avantageuses à adopter pour les chaudières. — Avec les hautes pressions, dont l'emploi s'étend chaque jour pour les machines marines, les chaudières tubulaires à faces planes sont presque abandonnées, et l'on a recours aux chaudières cylindriques tubulaires ordinaires, ou bien aux chaudières à tubes renfermant l'eau, ou enfin aux chaudières à faisceau tubulaire, système *Belleville*. Toutefois on construit encore en Angleterre des chaudières cylindriques allongées, ayant les faces de côtés planes, ce qui donne des facilités pour l'installation de trois fourneaux par chaudière ; mais ce système exige des consolidations très-robustes et très-encombrantes, et la forme pleinement cylindrique nous paraît préférable.

En marine, les chaudières doivent être considérées aux trois points de vue suivants : économie de combustible ; poids des chaudières, eau comprise ; durée et facilités d'entretien et de réparation.

Economie de combustible. — L'expérience a montré que l'utilisation du combustible est à peu près indépendante du type de chau-

dière. L'économie doit être cherchée dans l'amélioration des conditions de la combustion. Cette amélioration peut être obtenue : 1° par l'élévation de la température du foyer ; 2° par la réduction de la houille en morceaux suffisamment uniformes pour constituer une masse homogène sur la grille, et par l'obtention d'une combustion aussi complète que possible avec un minimum d'air ; enfin, 3° par la réduction de la longueur de la grille en augmentant au besoin sa largeur.

L'élévation de la température du foyer peut s'obtenir par un tirage forcé (n° 57_4) ; mais nous avons vu que ce tirage absorbe le bénéfice résultant d'une meilleure combustion. Il ne reste, par suite, que la ressource de séparer le foyer de la chaudière, afin que la chaleur ne soit pas absorbée par la surface de chauffe directe au fur et à mesure de sa formation. On pourrait obtenir ce résultat en construisant les foyers en briques réfractaires, et cette modification est applicable à toute espèce de chaudière. Il en est d'ailleurs de même de la réalisation des conditions 2° et 3°. Par suite, la production de vapeur, en supposant que les gaz s'échappent par la cheminée à une même température dans tous les cas, peut être estimée proportionnelle au poids de charbon brûlé par mètre carré de grille et par heure.

L'installation d'un foyer extérieur à la chaudière, au moins en partie, serait une cause d'augmentation d'encombrement dans le sens de la profondeur de la chaudière, et conduirait, sur beaucoup de bâtiments, à installer des chaufferies transversales, ce qui est une assez mauvaise condition pour l'arrivée de l'air dans les cendriers ; il faudrait par suite faire usage d'un tirage forcé. Mais, d'un autre côté, la chaudière pourrait être réduite dans le sens de sa hauteur, ou bien l'on pourrait installer pour les types tubulaires, un double jeu de tubes à fumée ; le premier, en retour de flamme, ayant les diamètres des tubes assez grands pour que la combustion des gaz puisse encore se continuer dans leur intérieur ; le second, superposé au premier et ramenant les produits de la combustion sur l'arrière de la chaudière, ayant des tubes d'un diamètre beaucoup plus petit, afin d'augmenter la surface de chauffe et d'abaisser le plus possible la température des gaz. Cet abaissement de température n'aurait aucun mauvais effet sur le tirage si le diamètre des premiers tubes était suffisamment grand.

Il est de règle, en pratique, de faire les courants de flamme aussi directs que possible afin de diminuer la résistance que les produits de

6

la combustion éprouvent dans leur parcours; mais, eu égard à ce que la combustion s'effectue avec une quantité notable d'air en excès, cet air ne pouvant être employé à cause de la présence de l'azote, de l'acide carbonique, de la vapeur d'eau, et surtout du parallélisme de marche des veines gazeuses, il y aurait intérêt à installer après le fourneau une chambre de combustion des gaz, dans laquelle, par une disposition convenable de retours, ou même simplement de tubes bouilleurs, le parallélisme dont il s'agit serait détruit. On pourrait ainsi bénéficier d'une meilleure combustion et d'une moins grande quantité d'air introduite dans le foyer.

Poids. — La comparaison des poids devrait être établie par rapport à la production de vapeur par unité de temps. A défaut de cette dernière donnée, qui n'est bien connue que pour nos anciennes chaudières à moyenne pression, nous rapporterons les poids au mètre carré de grille, en supposant par suite que la combustion se fait sensiblement dans les mêmes conditions pour tous les types de chaudières. En nous reportant au tableau D de l'*Atlas*, on a :

POIDS RAPPORTÉS AU MÈTRE CARRÉ DE GRILLE.

DÉSIGNATION.	CHAUDIÈRES à faces planes, tubulaires à retour de flamme, type haut renforcé.	CHAUDIÈRES cylindriques, tubulaires à retour de flamme, type haut de la marine.	CHAUDIÈRES à tubes d'eau type Lagrafel (enveloppes comprises).	CHAUDIÈRES à tubes bouilleurs type Belleville (enveloppes comprises).
Pression absolue de fonctionnement........	$3^{kg},68$	$5^{kg},03$	$8^{kg},26$	$5^{kg},06$
Nombre de foyers par corps.	4	2	1	1
Poids de la chaudière vide. .	3.751^{kg}	4.964^{kg}	5.897^{kg}	3.700^{kg}
Poids de l'eau........	1.884^{kg}	2.486^{kg}	1.653^{kg}	100^{kg}
Poids de la chaudière pleine.	5.635^{kg}	7.450^{kg}	7.550^{kg}	3.800^{kg}

On voit, d'après ce tableau, que les chaudières cylindriques à haute pression pèsent un peu plus que les chaudières à faces planes renforcées; mais elles ont l'avantage d'être beaucoup plus résistantes. Les consolidations nécessaires pour que les chaudières à faces planes puissent supporter une pression effective de 4^{kg} par *Cm.c*, rendraient ces chaudières aussi lourdes, sinon plus, que les chaudières cylindriques, et elles auraient le grand inconvénient d'avoir leur intérieur très-encombré par les pièces de consolidation. — Les chaudières

Lagrafel ont sensiblement le même poids que les chaudières cylindriques; quant aux chaudières *Belleville*, leur poids est bien inférieur à celui des autres types. Toutefois ce genre de chaudière ne saurait être réellement pratique qu'à la suite de l'adjonction d'un réservoir d'eau cylindrique, permettant d'annuler, dans une certaine mesure, les variations considérables de niveau et de pression auxquelles elles sont sujettes. De ce chef, le poids de ces chaudières devrait être porté à 5.000^{kg} au moins, eau comprise, par mètre carré de grille, mais elles n'en resteraient pas moins le type le plus léger.

Nous avons vu au n° 58_2 que la puissance d'une chaudière dépend moins de l'étendue de la surface de chauffe que de l'étendue de sa grille. Par suite, c'est sur l'amélioration de la combustion qui entraînera une élévation de température, d'où résultera un accroissement du rendement de l'unité de surface de chauffe, que l'on doit surtout compter pour arriver à une économie de poids par surface de grille. — En second lieu, pour une puissance donnée, l'économie de poids doit être cherchée dans l'emploi d'une grande étendue de grille, sans augmenter sensiblement la surface de chauffe. — A ces points de vue, les chaudières à tubes bouilleurs *Lagrafel* et *Belleville* présentent beaucoup plus de facilités que les chaudières cylindriques; car on peut diminuer en hauteur pour ajouter en largeur.

D'un autre côté, si les pressions doivent être portées au delà de 5^{at} et surtout atteindre 8^{at} ou 10^{at}, l'avantage sous le rapport du poids appartiendra incontestablement aux appareils *Belleville*, qui peuvent dès à présent fonctionner avec sécurité à 10^{at} de pression, tandis que les autres types auraient besoin, pour cela, de recevoir des augmentations d'épaisseur et des consolidations qui élèveraient très-notablement leur poids actuel.

Durée et facilités d'entretien. — Explosion. — Les parties qui dépérissent le plus rapidement dans une chaudière sont : les conduits de fumée, parce qu'ils ne sont pas baignés par l'eau, et les foyers, parce que la température y est beaucoup plus élevée que dans aucune des autres parties de la chaudière. Cette plus haute température produit des différences de dilatations sensibles, ayant pour conséquence un travail de dislocation très-énergique. Comme cette dernière cause de détérioration aura une tendance à augmenter avec la combustion améliorée, il y aura lieu de se précautionner contre elle dans les nouvelles chaudières.

On reproche d'autre part aux chaudières actuelles, le grand volume

qu'occupe chaque corps pris isolément, ce qui rend difficiles le débarquement et l'embarquement, lorsque le changement ou les réparations rendent ces opérations nécessaires. — Il conviendrait par suite, à ce point de vue, comme à celui des explosions dont les conséquences seraient diminuées, de fractionner les chaudières en éléments de dimensions réduites. A ce double point de vue, ce sont encore les chaudières *Belleville* qui ont l'avantage sur tous les autres types. — Pour arriver aux mêmes facilités d'embarquement et de débarquement avec les autres chaudières, il faudrait qu'elles fussent fractionnées en autant de corps que de foyers ; mais alors le poids serait considérablement augmenté, à cause de la plus grande étendue totale des parois extérieures ; tandis que pour les chaudières *Belleville*, ces parois n'existent pas ; il y a seulement une enveloppe isolante pour l'ensemble de l'appareil d'un bord.

En *résumé*, voici aux trois points de vue que nous venons d'examiner, l'ensemble des dispositions qui nous paraissent les meilleures.

Le foyer, qui doit être l'objet d'études expérimentales spéciales, sera renfermé dans une enveloppe en tôle, maçonnerie et escarbilles, arrêtant le rayonnement de la chaleur. Les parties de la chaudière proprement dite qui doivent être exposées au feu, seront formées de tubes indépendants de cette enveloppe, et disposés de manière à obéir autant que possible aux effets de la dilatation. Il n'y aura pas d'assemblage avec rivets, pas de grandes épaisseurs de métal, et partant moins de fatigue résultant de l'élévation de température.

Les tubes seront verticaux, ou à peu près, de manière à faciliter le dégagement de la vapeur, et déboucheront par leur partie supérieure dans un réservoir contenant une couche d'eau assez épaisse pour qu'ils soient toujours pleins. Ils ne seront plus par suite exposés à être brûlés, et on pourra au besoin les fabriquer en cuivre pour éviter l'usure par oxydation. — Il ne paraît guère possible de trouver pour cet ensemble de tubes, un système d'assemblage qui permette de changer l'un quelconque d'entre eux sans toucher aux autres ; mais on pourra faire en sorte que la portion de chaudière correspondant à un foyer forme un groupe distinct, susceptible d'être déplacé indépendamment du reste, en cas de réparation. — Quant au réservoir de vapeur, il paraît avantageux d'en faire une capacité séparée, soit par groupe de tubes et par suite pour un foyer, soit par plusieurs groupes de tubes.

Les chaudières à haute pression pour navire, doivent par suite se composer de trois parties distinctes :

L'*enveloppe*, formée extérieurement de tôles et de terres réfractaires, et par suite toujours facilement réparable.

La *chaudière*, fractionnée en autant d'éléments tubulaires que de foyers, ces éléments ne se reliant entre eux que par le tuyau d'alimentation et par le tuyau de vapeur, ce qui permettrait de les isoler au besoin et même de les démonter, en cas de réparation, sans paralyser d'autres portions de la chaudière.

Enfin le *réservoir de vapeur*, qui n'étant plus exposé au feu, ne serait plus soumis aux causes de détérioration qui limitent ordinairement sa durée.

Les chaudières *Belleville*, telles qu'on les construit aujourd'hui, avec leur réservoir d'eau et leur réservoir de vapeur, sont celles qui se rapprochent le plus des dispositions énoncées ci-dessus.

CHAP. IV, § 3. — DESCRIPTION DES TYPES NOUVEAUX DE CHAUDIÈRES ET DE LEURS ACCESSOIRES.

N° 59. — 1. Chaudière marine démonstrative, à haute pression. — 2. Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de la pression. — 3. Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de leurs dispositions. — 4. Pincipales proportions et rendement des chaudières marines actuelles.

N° 59_1 Chaudière marine démonstrative, à haute pression. — Pour employer la vapeur avec un degré de détente de 5 à 6, il faut au moins 5^{kg} de pression absolue à la chaudière. Les appareils à faces planes, mêmes renforcés, sont incapables de supporter avec sécurité une pression effective de 4^{kg} ; on a dû, par suite, avoir recours aux chaudières cylindriques.

L'usine d'*Indret* a dressé les plans de trois types de ces chaudières, qualifiés de *type haut*, *type moyen* et *type bas*. Chaque corps de chaudière comporte deux fourneaux : les dimensions varient suivant le type, mais la forme et les dispositions sont les mêmes dans tous les cas.

La *fig.* 35 représente une chaudière du type haut. Voici la légende de cette figure :

Vue 1°. Mi-élévation de face et mi-coupe suivant XX de la *vue* 2°.
Vue 2°. Coupe suivant YYYYYY de la *vue* 1°.

A,B fourneaux de forme cylindrique, confectionnés chacun avec deux feuilles de tôle roulées et rivetées. Pour chaque fourneau, les deux cylindres ainsi formés sont

Fig. 35. — Chaudière marine démonstrative, cylindrique tubulaire à haute pression, type haut. — Echelle 1/40°.

Vue 2°

Vue 1°

joints bout à bout, au moyen des pinces rabattues x,x, rivetées l'une sur l'autre avec interposition d'une forte rondelle de tôle. Les fourneaux sont rivetés sur la façade de la chaudière au moyen d'une forte cornière, et font un peu saillie en dehors.

a,b porte de fourneau et porte de cendrier, chacune en deux parties et montées au moyen de pentures et de gonds; elles se ferment par un loquet, comme dans les chaudières ordinaires. Les trous 1,1 et les ventouses 2,2, remplissent les mêmes fonctions que dans les chaudières à moyenne pression.

b' barre d'appui des outils de chauffe, supportée par deux galoches en cornière 2'.

C sole supportée par les pattes en cornière 3 et 3'.

C' autel supporté par les pattes en cornières 4 et 4', et garni d'une maçonnerie en briques réfractaires 5. Son bord supérieur ne porte pas contre la tôle du fond de la boîte à feu, de sorte qu'il existe une lame d'air 6, derrière l'autel.

c,C'' grilles, sommiers de grilles et galoches supportant les sommiers.

D boîte à feu, raccordée sur le fond du fourneau, celui-ci ayant été échancré pour la recevoir. Cette boîte à feu est plane dans le fond, sur la plaque de tête, dans la partie supérieure et dans la partie verticale d'en dedans; du côté extérieur, la paroi de la boîte à feu est parallèle au contour de la chaudière; dans le bas, elle suit le contour du fourneau. La tôle du fond et la plaque de tête sont relevées en cornière, pour recevoir la tôle enveloppe qui est en deux parties.

d,d tubes en laiton bagués et épaulés.

d_1,d_1 tubes en fer formant tirants. Ces tubes sont taraudés dans les trous de la plaque de tête *d'* de la boîte à feu; l'extrémité est rivée dans une fraisure pratiquée à l'extérieur; les tubes sont ensuite affleurés et reçoivent à l'intérieur, le contre-écrou 1, que l'on met en place avec joint étanche sur la plaque de tête, afin que l'eau ne vienne pas en contact avec les filets. Du côté de la boîte à fumée, les trous de la plaque de tête *d''* sont agrandis; le tube est renflé et taraudé pour recevoir les écrous 2 et 2' qui servent à le fixer. Le taraudage passe librement dans le trou de la plaque de tête; à plus forte raison en est-il ainsi pour le taraudage de la partie qui se fixe sur la plaque de tête de la boîte à feu.

d',d'' plaques de tête arrière et avant. La plaque de tête *d'* de la boîte à feu, a un bord relevé en cornière sur l'arrière, pour recevoir l'enveloppe de cette boîte à feu; elle est mise à cheval sur le fourneau, avec un bord relevé sur l'avant pour le rivetage. La plaque de tête *d''* de la boîte à fumée règne sur toute la façade de la chaudière, depuis le sommet du faisceau tubulaire jusqu'au dessous des fourneaux qui la traversent. Une deuxième tôle complète la façade.

E,E' boîte à fumée et culotte de la cheminée. Ces compartiments sont rapportés sur la façade et ne font pas partie intégrante de la chaudière.

e portes de boîte à fumée, en deux parties ayant chacune un loquet. Ce dernier est formé d'une tringle glissant dans deux anneaux carrés, et dont les extrémités s'engagent dans des anneaux semblables fixés sur la façade de la boîte à fumée. Le loquet de droite, *vue* 1°, a été laissé ouvert pour montrer la disposition du système.

E'_1 raccordement de la culotte avec la cheminée,

E'' cheminée construite pour desservir quatre chaudières placées face à face, deux à babord et deux à tribord.

F paroi extérieure de la chaudière. Le générateur est un cylindre dont les bases sont parfaitement consolidées par des cornières, des entretoises et des tirants. Les tôles qui forment l'enveloppe sont enroulées dans le sens de leur longueur. Les coutures longitudinales sont faites au moyen de trois rangs de rivets placés en quinconce. Les coutures transversales n'ont que deux rangs de rivets. — Les coutures du fond et de la façade sur l'enveloppe, sont faites par l'intermédiaire d'une forte cornière roulée, avec deux rangs de rivets alternés sur les deux pannes de la cornière. La partie de la tôle de dessous qui forme la croisure est amincie pour éviter les fuites.

F' parois des fourneaux et des boîtes à feu.

f remplissage fait au moyen d'une cornière et d'une maçonnerie pour diminuer l'entrée du foyer.

G,G' chambre à eau et lames d'eau.

g entretoises pour relier les faces planes entre elles, ainsi que les côtés des boîtes à feu à l'enveloppe de la chaudière. Ces entretoises sont taraudées et rivées.

H,H' chambre à vapeur et coffre à vapeur supplémentaire. La tôle de la chaudière n'est pas découpée au point où se place le coffre cylindrique H'; elle est seulement percée en crépine pour le passage de la vapeur. Cette disposition a l'avantage de ne pas affaiblir la chaudière, et de servir de tamis pour réduire les entraînements d'eau.

h,h' tirants et patins de tirants. Ces derniers sont confectionnés en fortes cornières rivetées sur les faces planes et leur servent d'armature. Les tirants sont tous parallèles et fixés à demeure sur leurs patins au moyen de trois rivets.

h_1 armatures pour consolider les ciels de boîte à feu. Ces armatures sont de simples cornières rivetées sur la tôle.

h'_1 fortes armatures pour relier les parties inférieures des boîtes à feu à l'enveloppe extérieure de la chaudière. Ces armatures sont formées de doubles cornières emprisonnant entre elles une forte tôle qui fait l'office de tirant.

I,*i* tuyau et régulateur d'alimentation de la machine.

i' régulateur d'alimentation au petit cheval.

K,*k* robinet et tuyau d'extraction ordinaire.

K'*k'* robinet et tuyau d'extraction à hauteur de niveau. Le canal du robinet K' est prolongé intérieurement par la pipe k'_1 terminée, droit au-dessous du réservoir de vapeur H', par un évasement en forme d'entonnoir K'_2.

M,*m* ensemble du tube de niveau. Cet organe présente la même disposition que dans les chaudières ordinaires à moyenne pression.

12,13 tuyaux de communication du manchon M avec la chaudière.

Il existe trois robinets-jauges du type ordinaire, placés sur la gauche de la *vue* 1°, et qui ont été enlevés par la coupe.

N manomètre indiquant la pression dans la chaudière.

O,O',O" boîte de la soupape de sûreté, contre-poids et tuyau d'échappement de cette soupape. Cet organe est de la forme de ceux usités dans les chaudières à moyenne pression. Le tuyau d'échappement O", et celui de la chaudière située en face de celle que représente la figure, se réunissent en un seul tuyau O_1, qui s'élève le long de la cheminée pour conduire la vapeur au-dessus du pont.

P,*p*,V soupape d'arrêt, volant de manœuvre de cette soupape et tuyau de prise de vapeur. Les tuyaux V des quatre chaudières se réunissent en un seul qui conduit la vapeur aux cylindres. — Aux points où se fixe la soupape d'arrêt, se trouve un manchon riveté sur le coffre H', et d'un diamètre plus grand que celui de la soupape. La tôle n'est pas découpée, mais seulement percée en crépine pour éviter les entraînements d'eau.

assises de la chaudière; chantiers formés par les carlingues, dans lesquels les chaudières s'emboîtent, et sur lesquels elles sont retenues par les cornières 15.

9,11 trous de sel et trou d'homme.

14,15 parquet de chauffe et cornière de retenue des chaudières.

16 ensemble de l'appareil de manœuvre de la soupape de sûreté, disposé comme dans les chaudières à moyenne pression et ayant ses points d'appui sur la tôle de la boîte à fumée.

Il n'existe, dans les chaudières cylindriques, ni surchauffeur ni sécheur.

Le tableau D de l'*Atlas*, donne tous les éléments de construction du type haut des chaudières qui nous occupent. Voici le résumé des dimensions principales des trois types :

DIMENSIONS ET ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES RÉGLEMENTAIRES DANS LA MARINE.

DÉSIGNATION.	TYPES HAUT.	TYPES MOYEN.	TYPES BAS.
Longueur du corps hors tôle	2m,900	2m,900	2m,900
Diamètre intérieur au milieu	3m,600	3m,480	3m,250
Distance de l'axe d'un foyer à celui du corps, suivant le rayon	1m,069	1m,041	0m,952
Distance d'axe en axe des foyers	1m,278	1m,216	1m,166
Diamètre intérieur d'un foyer	1m,110	1m,050	1m,000
Tubes en laiton. — longueur	2m,180	2m,180	2m,180
Tubes en laiton. — diamètre intérieur	0m,085	0m,085	0m,085
Tubes en laiton. — diamètre extérieur	0m,080	0m,080	0m,080
Tubes en laiton. — nombre par corps	142	130	114
Tubes en fer. — longueur	2m,230	2m,230	2m,230
Tubes en fer. — diamètre extérieur	0m,085	0m,085	0m,085
Tubes en fer. — diamètre intérieur	0m,075*	0m,075*	0m,075*
Tubes en fer. — nombre par corps	34	28	28
Epaisseur et qualité des tôles. — enveloppes cylindriques (supérieure)	0m,022	0m,021	0m,020
Epaisseur et qualité des tôles. — faces verticales (supérieure)	0m,016	0m,016	0m,016
Epaisseur et qualité des tôles. — boîtes à feu (fine)	0m,016	0m,016	0m,016
Epaisseur et qualité des tôles. — plaques à tubes (fine)	0m,020	0m,020	0m,020
Epaisseur et qualité des tôles. — foyers (fine)	0m,014	0m,014	0m,014
Cornières. — jonctions des enveloppes avec les faces verticales	120mm sur 120mm	120mm sur 120mm	120mm sur 120mm
Cornières. — patins de tirants	100mm sur 120mm	100mm sur 120mm	100mm sur 120mm
Cornières. — entrée de foyers, boîtes à feu, armatures	80mm sur 100mm	80mm sur 100mm	80mm sur 100mm
Tirants. — diamètre	0m,050	0m,050	0m,050
Tirants. — écartement horizontal	0m,350	0m,350	0m,350
Tirants. — écartement vertical	0m,340	0m,340	0m,340
Entretoises. — diamètre hors filets	0m,030	0m,030	0m,030
Entretoises. — écartement horizontal	0m,200	0m,190	0m,210
Entretoises. — écartement vertical	0m,200	0m,195	0m,190
Barreaux de grille. — longueur de la rangée du fond	0m,830	0m,750	0m,830
Barreaux de grille. — d° d° du milieu	0m,750	0m,750	0m,550
Barreaux de grille. — d° d° de l'avant	0m,550	0m,550	0m,550
Barreaux de grille. — épaisseur d'un barreau de grille	0m,025	0m,025	0m,025
Barreaux de grille. — écartement de deux barreaux voisins	0m,015	0m,015	0m,015
Résultats des calculs. — surface de grille totale	4m.c,83	4m.c,40	3m.c,95
Résultats des calculs. — surface de chauffe directe	18m.c,24	17m.c,50	16m.c,15
Résultats des calculs. — surface de chauffe tubulaire	95m.c,24	85m.c,59	76m.c,83
Résultats des calculs. — surface de chauffe totale	113m.c,48	103m.c,09	92m.c,98
Rapport à la surface de grille. — de la surface de chauffe totale	23,500	23,430	23,540
Rapport à la surface de grille. — de la section d'ouverture des cendriers	0,200	0,195	0,200
Rapport à la surface de grille. — de la section des tubes (bagués)	0,161	0,159	0,159
Volume d'eau	12m.cub,011	11m.cub,230	10m.cub,610
Volume de vapeur sans le réservoir	7m.cub,850	7m.cub,200	5m.cub,230
Poids total, corps, boîte à fumée, barreaux de grilles, sommiers et autels	23.973kg	21.731kg	19.479kg
Charge des soupapes de sûreté sur le grand diamètre	4kg,00	4kg,00	4kg,00

* Au diamètre intérieur de 0m,075, les tubes en fer ont une section d'entrée égale à celle des tubes en laiton bagués.

Dans les chaudières cylindriques du type réglementaire, construites par le *Creuzot* pour l'*Annamite*, le *Mytho* et le *Fulminant*, les armatures des ciels de boîtes à feu ne sont pas formées par des cornières. Ces armatures consistent en étriers, appuyant sur la tôle par deux talons ménagés aux extrémités, et fixés au moyen de deux boulons. Entre les deux talons, l'étrier est évidé parallèlement à la tôle, et les boulons traversent des rondelles ajustées entre la tôle et l'étrier, de manière à ne pas faire gondoler le ciel de la boîte à feu en serrant les boulons.

— Le trou d'homme est placé sur le diamètre vertical de la chaudière, droit au-dessus de la lame d'eau qui est entre les deux boîtes à feu. Les quatre tirants qui se trouvent à l'aplomb du trou d'homme sont démontables, pour permettre un accès facile à cette lame d'eau et aux lames d'eau situées derrière les boîtes à feu.

— Les portes des boîtes à fumée sont d'une seule pièce ; elles s'ouvrent sur des charnières horizontales placées à l'arête supérieure.

— Le tube de niveau est placé sur le diamètre vertical de la face, entre les portes des boîtes à fumée.

D'après les essais du *Seignelay* [tableau C et C (suite)], on a obtenu un cheval indiqué pour $0^{m.c},012$ de surface de grille. Dans les mêmes conditions de combustion, les chaudières cylindriques réglementaires auront, en nombre rond, une puissance de :

Type haut	100^{ch}	nominaux ou	400^{ch}	de	75^{km}
Type moyen	90^{ch}	d°	360^{ch}		d°
Type bas	80^{ch}	d°	320^{ch}		d°

N° 59. Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de la pression. — Au point de vue de la pression, les chaudières marines actuelles se classent en chaudières à moyenne pression et en chaudières à haute pression. Les moyennes pressions ont été élevées à $3^{kg},25$ valeur absolue ; au-dessus, les chaudières sont dites à haute pression et fonctionnent, suivant leur système à 4^{kg} et au-dessus, valeur absolue. Le fonctionnement à 5^{kg} est actuellement en grande faveur avec l'emploi des machines Woolf, parce que cette pression permet de réaliser un degré de détente suffisamment étendu, de 5 à 6, sans que la pression au moment de l'évacuation soit trop faible, et sans que, d'autre part, on ait une température trop élevée à l'introduction.

Par ailleurs, les chaudières à moyenne pression ne sont plus mu-

nies de surchauffeurs, mais seulement d'un sécheur (n° 62_6). Quant aux chaudières à haute pression, l'appareil de séchage est même supprimé, car la température est déjà très-élevée, et la moindre surchauffe amènerait la vapeur à une température telle que les matières grasses qui servent à lubrifier les cylindres seraient décomposées.

N° 59_3 Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de leurs dispositions. — 1° Au point de vue de la forme extérieure, les chaudières marines sont à faces planes pour les moyennes pressions, et cylindriques pour les hautes pressions.

2° Au point de vue de la chambre à eau, les chaudières sont toujours tubulaires, et se divisent en deux classes : les chaudières avec eau autour des tubes et les chaudières avec eau dans les tubes.

Les chaudières avec eau autour des tubes sont à flamme directe ou à flamme en retour.

Les chaudières avec eau dans les tubes ont ces derniers, tantôt verticaux, tantôt horizontaux, tantôt légèrement inclinés.

Parmi les chaudières avec tubes horizontaux ou légèrement inclinés renfermant l'eau, on distingue : 1° les chaudières dans lesquelles l'ensemble du faisceau tubulaire aboutit par ses extrémités à deux chambres à eau, la circulation s'effectuant dans chaque tube et indépendamment des autres ; les tubes font tous partie de la chambre à eau ; 2° les chaudières dans lesquelles les tubes de la même rangée verticale forment un groupe qui est parcouru par la même eau ; on les désigne ordinairement sous le nom de chaudières à circulation ; les tubes sont en partie dans la chambre à eau et en partie dans la chambre à vapeur.

N° 59_4 Principales proportions et rendement des chaudières marines actuelles. — Les chaudières marines actuelles sont à faces planes renforcées et fonctionnent à $2^{kg},25$ de pression effective, ou bien ces chaudières sont cylindriques ou à tubes bouilleurs cylindriques et fonctionnent à 4^{kg} de pression effective et au-dessus. Le tableau D de l'*Atlas* donne les dimensions détaillées des divers types de chaudières ; en voici les éléments principaux, exprimés en nombres ronds.

TABLEAU DONNANT LES DIMENSIONS PRINCIPALES DES DIVERS TYPES DE CHAUDIÈRES USITÉS ACTUELLEMENT.

SYSTÈME DE CHAUDIÈRES. — TYPE DE CHAQUE ESPÈCE.	A FACES PLANES renforcées, tubulaire à retour de flamme avec sécheur. — Type haut de la marine militaire.	A FACES PLANES, tubulaire à retour de flamme, avec dôme cylindrique et sécheur. — Type des messageries maritimes.	CYLINDRIQUES, tubulaire à retour de flamme, avec réservoir de vapeur cylindrique horizontal. — Type des messageries maritimes.	CYLINDRIQUES, tubulaire à retour de flamme, avec réservoir de vapeur cylindrique vertical. — Type haut de la marine militaire.	LAGRAFEL, à tubes bouilleurs inclinés et réservoir de vapeur parallèle aux bouilleurs. — Type de la Comp. Fraissinet pour paquebot.	BELLEVILLE, à tubes bouilleurs légèrement inclinés et collecteur de vapeur horizontal. — Type pour grand navire.
Charge des soupapes de sûreté. . .	2^{kg},25	2^{kg},25	4^{kg},00.	4^{kg},00	7^{kg},00	4^{kg},00
Par cheval de 75 Km. — Volume d'eau.	$34^{dm.cub}$,100	$50^{dm.cub}$,370	$41^{dm.cub}$,666	$30^{dm.cub}$,331	$22^{dm.cub}$,425	$1^{dm.cub}$,500
Volume de vapeur.	$32^{dm.cub}$,650	$33^{dm.cub}$,230	$20^{dm.cub}$,323	$19^{dm.cub}$,747	$18^{dm.cub}$,893	$5^{dm.cub}$,000
Surface de grille.	$1^{dm.c}$,81	$2^{dm.c}$,02	$1^{dm.c}$,25	$1^{dm.c}$,22	$1^{dm.c}$,35	$1^{dm.c}$,50
Surface de chauffe directe. .	$0^{m.c}$,080	$0^{m.c}$,087	$0^{m.c}$,063	$0^{m.c}$,046	$0^{m.c}$,034	»
Surface de chauffe tubulaire.	$0^{m.c}$,376	$0^{m.c}$,369	$0^{m.c}$,220	$0^{m.c}$,241	$0^{m.c}$,204	$0^{m.c}$,452
Surface de chauffe totale . .	$0^{m.c}$,456	$0^{m.c}$,467	$0^{m.c}$,294	$0^{m.c}$,293	$0^{m.c}$,488	$0^{m.c}$,452
Rapport à la surface totale des grilles. — du vide des grilles	0,291	0,289	0,272	0,340	0,322	0,335
de la section d'ouverture des cendriers.	0,088	0,137	0,100	0,200	0,100	0,170
de la section des tubes à fumée ou de la section de l'intervalle des bouilleurs	0 155	0,167	0,170	0,161	0,261	0,312
de la section de la cheminée. .	0 174	0,138	0,161	0,125	0,217	0,139
de la surface de chauffe directe.	4,405	4,287	5,032	3,778	2,482	»
de la surface de chauffe totale.	24,750	23,098	23,536	24,016	36,118	30,100
Rapport de la surface de chauffe directe à la surface tubulaire. . .	0,212	0,234	0,287	0,192	0,074	»

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DE QUELQUES CHAUDIÈRES ANGLAISES.

CONSTRUCTEURS.	DAY.	ROWAN et HORTON.	DUDGEON.	JAMES WATT.
Surface de chauffe totale par cheval de 75 *Km*	$0^{m.c}$,298	$0^{m.c}$,285	$0^{m.c}$,226	$0^{m.c}$,285
Surface de grille par cheval de 75 *Km*	$1^{dm.c}$,11	$1^{dm.c}$,25	$1^{dm.c}$,21	$1^{dm.c}$,03

Rendement. — Le rendement des chaudières marines actuelles, c'est-à-dire la fraction du pouvoir calorifique du combustible qui est transmise à l'eau, vaut environ 0,64. Cela résulte de nombreuses expériences faites aux chaudières d'essai des charbons, qui ont donné en moyenne 8^{kg},30 de vapeur par kilogramme de houille brûlée. Comme sur les bâtiments, la combustion s'effectue dans de moins bonnes conditions qu'à terre, et que, notamment, l'air arrive avec plus de difficulté aux fourneaux, on ne peut guère compter, en service courant, que sur une production de 8^{kg} de vapeur par kilogramme de charbon. L'eau étant prise à 40° et vaporisée à 130°, on a pour rendement :

$$\frac{(606{,}5 + 0{,}305 \times 130 - 40)\,8}{7500} = 0{,}64.$$

Nous avons expliqué, au n° 57_8, qu'il y a une perte d'environ 0,10 provenant de la combustion imparfaite et du rayonnement, et une perte de 0,26 correspondant à la quantité de chaleur emportée par les produits de la combustion, qui atteignent la base de la cheminée avec une température de 350° environ.

N° 60. — 1. Types divers de chaudières à faces planes, tubulaires à retour de flamme. — 2. Types divers de chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme. — 3. Tuyautage complet de la machine et des chaudières d'un bâtiment, ainsi que des appareils annexes. — 4. Types divers de chaudières tubulaires à flamme directe.

N° 60_1 Types divers de chaudières à faces planes, tubulaires à retour de flamme. — Jusqu'à ces derniers temps, les chaudières à faces planes fonctionnaient à une pression effective ne dépassant pas 1^{at},75. Mais avec la généralisation des machines Woolf, la pression aux chaudières a été progressivement élevée, et on ne construit plus guère aujourd'hui que des générateurs cylindriques

fonctionnant à 4^{kg} de pression effective. Toutefois, l'on n'en est pas arrivé là du premier coup; et avant les chaudières cylindriques, on a construit des générateurs à faces planes renforcées, qui forment la transition entre les anciennes chaudières à moyenne pression et les chaudières actuelles à haute pression.

Fig. 5, Pl. VIII. **Chaudières à faces planes renforcées, type réglementaire dans la marine.**—La *fig.* 5, *pl.* VIII représente la modification apportée aux anciennes chaudières à moyenne pression, type haut, à 4 fourneaux, lorsque la charge des soupapes a été élevée à $2^{kg},25$.

Le faisceau tubulaire de chaque fourneau a été partagé en deux parties superposées, et il a été fait une nouvelle répartition des tubes sur les plaques de tête. Dans le demi-faisceau supérieur *a*, les tubes sont sur neuf rangées verticales comprenant chacune cinq tubes placés en quinconce, de telle sorte que les tubes des rangées paires sont en contre-bas des tubes des rangées impaires. La distance, de centre en centre, des tubes voisins de la même rangée verticale, est de 102^{mm}. La distance horizontale, de centre en centre, des tubes de deux rangées alternes est de 175^{mm}.

Dans le demi-faisceau inférieur *a'*, les tubes sont également placés sur neuf rangées verticales : les rangées impaires, au nombre de cinq, renferment chacune cinq tubes; les rangées paires, au nombre de quatre, ne renferment chacune que quatre tubes, et ces derniers sont placés en quinconce par rapport aux premiers, à la hauteur des milieux de leurs distances verticales. — Les tubes, sont, par suite, au nombre de 86; ils ont d'ailleurs les dimensions ordinaires, et reçoivent à leurs extrémités des bagues en acier dont le diamètre intérieur est de 60^{mm}.

Une file de six tirants transversaux *b*, également espacés, relie les faces planes opposées de la chaudière, en passant dans l'intervalle libre entre les deux demi-faisceaux tubulaires. — Une série de cinq tirants longitudinaux *c*, relie les plaques de tête, entre les deux demi-faisceaux tubulaires; trois de ces tirants sont placés au-dessus des tirants transversaux, et au-dessous des trois rangées impaires de tubes du demi-faisceau supérieur; les deux autres sont placés au-dessous des tirants transversaux, et au-dessus des deux rangées paires de tubes du demi-faisceau inférieur; les tirants supplémentaires, placés au milieu des plaques de têtes sont, par suite, alternés; ils occupent d'ailleurs la partie centrale.

Le ciel de la boîte à feu et le niveau de l'eau dans les chaudières sont abaissés de trois centimètres.

Une file de tirants transversaux dans le coffre à vapeur a été supprimée.

Les tirants obliques reliant le ciel de la boîte à feu à l'arrière de la chaudière, ont été supprimés et remplacés par deux doubles équerres en tôle *d*, rivetées sur les armatures du ciel de la boîte à feu et sur la face arrière de la chaudière.

Les équerres *d* de chaque boîte à feu, portent trois tirants obliques dont l'un se fixe sur les cornières *g* du sommet de la chaudière, et les deux autres sur les cornières *e*, qui courent verticalement le long de la boîte à fumée. Cette dernière a d'ailleurs été modifiée aux angles supérieurs: les pinces des tôles sont remplacées par des cornières *f*, et il a été ajouté une rangée d'entretoises pour relier la boîte à fumée aux flancs de la chaudière. — Une rangée d'entretoises a été ajoutée aux cendriers. — Enfin les armatures *h*, formant patin de tirant des flancs de la chaudière, sont prolongées jusqu'à la cornière d'angle du sommet, sur laquelle elles sont épaulées et rivetées. D'autres armatures en cornière *g*, ont été ajoutées au sommet de la chaudière et sur la partie arrondie, jusqu'à la hauteur des ciels de boîte à feu. Deux de ces armatures ont été contournées, en G, pour faire le trou d'homme.

Voici les données principales qui se rapportent à ce type de chaudière :

DONNÉES PRINCIPALES RELATIVES AUX CHAUDIÈRES RÉGLEMENTAIRES A FACES PLANES RENFORCÉES DU TYPE HAUT.

DÉSIGNATION.		DIMENSIONS ou rapports.
Section des tubes avec bagues, 0m,060 de diamètre intérieur, par foyer.		0m.q.,285348
Rapport de la section tubulaire à la surface de grille.		0,155
Surface de chauffe par foyer.	foyer et boîte à feu.	7m.q.,9740
	surface intérieure des tubes.	37m.q.,5650
	surface totale	45m.q.,5390
Rapport de la surface de chauffe totale à la surface de grille.		24,750
Volume d'eau par foyer.		3m.cub.,410
Volume de vapeur par foyer.		3m.cub.,265

Par ailleurs, comme disposition d'ensemble et comme agencement,

et sauf les modifications dont nous venons de parler, les chaudières à faces planes renforcées, ne sont autres que les chaudières réglementaires du type haut (n° 155_1 du *Gd Traité*).

Pour les chaudières du type bas, on a modifié les grilles, qui sont actuellement sur deux rangées de $0^m,83$ de long, tandis qu'elles étaient sur trois rangées de $0^m,55$. Cette modification n'a pas changé l'étendue de la grille.

Fig. 1, Pl. VII.

Chaudières à faces planes renforcées, tubulaires à retour de flamme : type de Napier de Glascow. — Ces chaudières sont représentées par la *fig.* 1, *pl.* VII ; elles fonctionnent à $4^{at},33$ de pression effective. Voici la légende de cette figure :

A,B foyer et cendrier. Le ciel du foyer est demi-cylindrique ; les angles inférieurs du cendrier sont fortement arrondis.

a,b porte de foyer et porte de cendrier. Cette dernière s'ouvre par rotation autour de l'axe horizontal 1, la partie supérieure s'enfonçant dans le cendrier. Une rondelle fixée sur l'axe 1, porte divers trous dans l'un desquels s'engage une broche pour maintenir la porte *b* ouverte.

c barreaux de grille, de forme ordinaire et sur deux rangées.

D boîte à feu. La partie supérieure est arrondie et ne présente d'angle vif qu'à son raccordement avec la plaque de tête. Le raccordement de la face arrière avec la tôle du cendrier, se fait par un plan incliné terminé par un arrondi aux deux extrémités.

d tubes ordinaires en laiton, partagés, sur la même plaque de tête, en quatre groupes dans les intervalles desquels passent deux rangées de tirants horizontaux ; l'une de ces rangées est perpendiculaire aux plaques de tête ; l'autre est parallèle à ces plaques.

E boîte à fumée.

e,e portes de boîte à fumée, au nombre de deux, superposées pour chaque fourneau.

E',E" culotte de la cheminée et cheminée.

F,G chambre à eau et lames d'eau.

H,H' chambre à vapeur et sécheur. Le sommet de la chaudière est fortement arrondi ; il est sillonné par une série de cornières formant armature, et sur lesquelles s'attachent les tirants qui relient ce sommet à la partie inférieure de la chaudière, en passant dans les lames d'eau.

h soupape de communication de la chambre à vapeur H avec le sécheur H', et siége de cette soupape.

K tuyau de vapeur.

N régulateur d'alimentation. Cet appareil est constitué par une soupape que charge un contre-poids ; ce dernier est formé de rondelles de plomb montées directement sur la tige de la soupape, en dehors du couvercle de la boîte. L'alimentation est réglée par la charge du clapet, que l'on peut rendre variable, et qu s'ajoute à la pression de la vapeur.

p prise d'eau d'extraction continue à hauteur du niveau.

p' récipient à double communication avec la chaudière, pour introduire dans celle-ci, à hauteur du niveau, de l'huile propre destinée à combattre les ébullitions. On emploie généralement l'huile minérale dite de *Crane*.

Q tube indicateur du niveau.

R soupape atmosphérique.

2 ventouses de porte de cendrier.

3 porte de visite du surchauffeur.

Les chaudières qui nous occupent fonctionnent, à très-peu près, dans les **mêmes conditions** que nos chaudières à faces planes renforcées, décrites ci-dessus.

Chaudière à faces planes, tubulaire à retour de flamme à haute pression : type de Ravenhil Salked et Cie. — Cette chaudière, représentée par la *fig.* 6, *pl.* VIII, présente les particularités suivantes : Fig. 6, Pl. VIII.

La consolidation des faces planes est obtenue au moyen d'un nombre considérable de tirants, formant une série verticale *a*, et deux séries horizontales: l'une transversale *b*, l'autre longitudinale *b'*, et se croisant d'ailleurs à angle droit. Ces tirants sont fixés sur les tôles de la chaudière par des écrous, deux à chaque extrémité, l'un intérieur et l'autre extérieur. — Le faisceau tubulaire de chaque foyer, comprenant 56 tubes, est traversé en son milieu par une file de 4 tirants verticaux *a*, qui relient le ciel du foyer au dôme de la chaudière et à la paroi de la boîte à fumée; un cinquième tirant relie le ciel de la boîte à feu avec le dôme de la chaudière. — Deux rangées horizontales se composant chacune de quatre tirants transversaux *b*, passent entre les tubes pour relier les flancs de la chaudière. — Il n'existe pas de tirants entre les plaques de tête; quatre tubes par foyer en tiennent lieu; ces tubes sont en fer et maintenus par des écrous extérieurs.

Les portes *e* de boîte à fumée s'ouvrent de bas en haut, et ont leurs pentures à l'angle supérieur. — Deux rangées de grilles très-longues *c*, et fortement inclinées, garnissent les foyers; les grilles portent de chaque côté, au milieu de leur longueur, de petits talons 1, qui servent à les empêcher de se gauchir. — Les soupapes de sûreté L, au nombre de deux par chaudière, sont renfermées dans la même boîte; elles sont chargées directement, et les contrepoids M sont également dans les boîtes, selon l'usage anglais. Le tuyau d'échappement *l* est commun pour les deux soupapes de la même chaudière; ces dernières se manœuvrent en même temps, au moyen d'un système de levier 2, dont la disposition rappelle celle de nos chaudières types.

Le haut de la boîte à fumée et son prolongement jusqu'à la cheminée laissent libre, sur l'avant de la chaudière, une large lame dans laquelle débouche le tuyau de prise de vapeur I, dont l'extrémité s'élève jusque vers le sommet de la chaudière. La vapeur peut être amenée directement aux cylindres par la soupape J et le tuyau K. Mais on peut la faire passer dans un surchauffeur tubulaire S, logé dans la partie haute de la boîte à fumée, en fermant la soupape J et en ouvrant les deux soupapes J_1 et J'. Une soupape de sûreté supplémentaire L' est placée à la jonction du surchauffeur avec le tuyau de vapeur, pour prévenir tout accident lorsque les soupapes J_1 et J' sont fermées et que la vapeur ne passe pas dans le surchauffeur.

L'alimentation se fait par le régulateur N.

Chaudière demi-cylindrique, tubulaire à retour de flamme à foyers cylindriques : type de Paquet et Cie. — Cette chaudière, représentée par la *fig.* 7, *pl.* VIII, a beaucoup d'analogie avec la chaudière cylindrique type de la marine (n° 59_1). Les flancs de la chaudière sont plans dans toute l'étendue de la hauteur du faisceau tubulaire, et sont ensuite raccordés par des demi-cylindres. — Chaque corps de chaudière com- Fig. 7, Pl. VIII.

prend deux foyers cylindriques, construits en tôle d'acier et d'un seul morceau; les plaques de tête et les parois de la boîte à feu, cette dernière étant commune aux deux foyers, sont également en tôle d'acier. — La boîte à fumée E est rapportée.

Le corps ovale de la chaudière et les faces planes avant et arrière sont en tôle de fer. La face arrière est rivetée sur l'enveloppe par l'intermédiaire d'une forte cornière intérieure *a*, contournée à la forme de cette enveloppe. La tôle de la face avant est rabattue et porte une forte pince *a'*, sur laquelle est effectuée la rivure. Chacune des faces planes est consolidée dans le coffre à vapeur par quatre grandes équerres *b*, formant console, et par deux séries de tirants horizontaux *c*, boulonnés à l'intérieur et à l'extérieur, les tôles des façades étant renforcées à leur passage, par de larges plaques rivetées *c'*.

Les plaques à tubes sont consolidées par dix-huit tubes en fer *d* formant tirants, boulonnés à l'intérieur et à l'extérieur. — Le faisceau tubulaire comprend 144 tubes, 72 par foyer, partagés en trois séries horizontales, entre lesquelles passent les tirants transversaux *f*, qui consolident les faces planes de l'enveloppe. De larges bandes de tôle rivetées *f'*, renforcent cette enveloppe au passage des tirants. La boîte à feu est plane au sommet avec angles arrondis; elle est demi-cylindrique à la partie inférieure et se trouve dans cette partie, en contre-bas du cendrier. Les parois de la boîte à feu sont reliées au corps de la chaudière par de nombreuses entretoises *g*. La partie plane du sommet est consolidée par cinq doubles cornières *g'*, rivetées, formant armature. Les bords verticaux des deux cornières de la même armature ne se touchent pas; ils laissent entre eux un intervalle suffisant pour la circulation de l'eau. — Dans la partie inférieure, au-dessous des fourneaux, la paroi verticale avant de la boîte à feu est reliée à la façade de la chaudière par deux forts tirants *h*, boulonnés à l'intérieur et à l'extérieur.

Le trou d'homme est en 1, sur la partie demi-cylindrique du coffre à vapeur. — Les ciels de foyer et les lames d'eau peuvent être nettoyés par les trous à sel 2, et le sel se retire par la porte 3 placée au bas de la chaudière, entre les deux foyers.

Voici quelques renseignements relatifs à la chaudière qui nous occupe :

Puissance de l'appareil évaporatoire complet en 3 corps. — 175 ch de 300 km.
Pression effective. 4 kg,5

	PAR FOYER.	POUR 6 FOYERS.
Surface de grille.	1 m.c,4330	8 m.c,5980
Surface de chauffe. . . . directe.	9 m.c,3000	55 m.c,8000
Surface de chauffe. . . . tubulaire.	26 m.c,7840	160 m.c,7040
Surface de chauffe. . . . totale.	36 m.c,0840	216 m.c,5040
Rapport de la surface de chauffe totale à la surface de grille.	»	25,181
Section de la cheminée.	»	1 m.c,3200
Rapport de la section de la cheminée à la surface de grille.	»	0,1535

Chaudières à foyers cylindriques, tubulaires à retour de flamme : type de Day, Summers et Cie. — Ce type de chaudière présente extérieurement la même forme que le précédent. L'enveloppe est cylindrique à la partie supérieure et à la partie inférieure, et plate sur les côtés. Les fourneaux, au nombre de trois pour chaque corps de chaudière, sont cylindriques, et disposés comme sur la *fig.* 8, *pl.* VIII. Il n'y a dans chaque corps qu'une boîte à feu commune aux trois fourneaux. La partie supérieure est plane et consolidée par des cornières ; les faces de côté suivent la forme extérieure de la chaudière ; l'appareil complet comprend 4 corps de chaudières opposés deux à deux, avec chaufferie longitudinale. Les boîtes à fumée ont deux portes superposées. — Les tubes sont au nombre de 72 par foyer ; ils sont placés sur 8 rangées horizontales de 9 tubes chaque. Dans les 3e et 6e rangées, on a supprimé 4 tubes pour placer des tirants destinés à maintenir les plaques de tête. Une rangée de 4 tirants se trouve également entre chaque faisceau tubulaire. — Les lames d'eau sous le cendrier et derrière la boîte à feu, sont consolidées par de nombreuses entretoises ; les parties planes du coffre à vapeur sont tenues par 19 tirants, dont les patins sont constitués par de fortes cornières formant armature. Des cornières semblables sont également placées sur les faces verticales de côté, et 6 rangées de tirants horizontaux dont 4 traversent les faisceaux tubulaires, les relient l'une à l'autre.

Sur chaque corps de chaudière est rapporté un réservoir cylindrique vertical, dans lequel la vapeur se rend, en passant à travers des trous pratiqués dans la partie du dôme de la chaudière qui lui sert de base ; ce réservoir est mis, par un conduit muni d'une soupape, en communication avec un surchauffeur cylindrique suspendu à l'intérieur de la partie basse de la cheminée, et qui est par conséquent entouré par les produits de la combustion, qui passent d'ailleurs en plus à l'intérieur de cinq gros tubes, ce qui augmente la surface de surchauffe. — Les autres parties de ces chaudières ne présentent pas de particularité remarquable.

Voici les renseignements principaux qui les concernent :

Nombre de corps		4
Pression effective		$4^{kg},00$
Surface de grille		$17^{m.c},30$
Surface de chauffe	directe, fourneaux	$30^{m.c},00$
	— boîtes à feu	$41^{m.c},00$
	plaques de tête	$15^{m.c},20$
	tubulaire	$377^{m.c},00$
	totale	$463^{m.c},20$
Surface totale de surchauffe		$25^{m.c},30$
Volume du réservoir de vapeur		$33^{m.cub},80$
Rapport de la section de la cheminée à la surface totale de grille		0,152

N° 60_2 Types divers de chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme. — Les chaudières cylindriques sont employées pour les hautes pressions ; c'est la forme qui résiste le mieux sans se déformer. Dans les chaudières fixes, il est ajouté au

corps de la chaudière deux bouilleurs également cylindriques placés en dessous, sur le foyer, un de chaque côté, et communiquant avec la chaudière par deux tubulures. Chaque bouilleur est fermé par des parties planes, parce que le diamètre est relativement faible; mais le corps principal de la chaudière est fermé par des calottes demi-sphériques. — Pour les chaudières tubulaires à foyers intérieurs, les faces avant et arrière sont planes; les foyers sont cylindriques comme la chaudière; les boîtes à feu ont généralement la face arrière plane, ainsi que le haut; les côtés et le fond seul sont arrondis pour se raccorder sur la partie inférieure du cendrier. — Nous avons donné au n° 59_1 la description de la chaudière cylindrique type de la marine; nous allons examiner, parmi les autres types, ceux qui sont le plus usités.

Fig. 7, Pl. IX. **Chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme à deux corps adossés : type anglais.** — Ce type est représenté par la *fig.* 7, *pl.* IX ; il fonctionne sur le paquebot *le Pascal*, de la Compagnie *Lamport et Holt*. Deux chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme, ayant chacune 3 foyers également cylindriques, sont adossées et ont une boîte à feu commune D. Ces chaudières se confondent en une seule, les parois de l'une étant les prolongements de celles de l'autre; le coffre à vapeur H est commun. La boîte à feu D prend toute la largeur de la chaudière, sauf une lame d'eau qui l'entoure; sa profondeur vaut environ le quart de la longueur totale de la chaudière. Cette boîte à feu est cylindrique sur les côtés, plane dans la partie supérieure, et contournée pour se raccorder sur les foyers à la partie inférieure. La partie plane du haut est reliée à celle du bas par six gros bouilleurs cylindriques G_1, qui forment entretoise, et qui font communiquer la lame d'eau inférieure G avec la chambre à eau G' au-dessus des tubes.

Chaque foyer A, B, ne comporte qu'une seule rangée de grilles *c*, de $1^m,50$, en fonte, avec un talon sur le milieu de la longueur. — Les tubes *d* sont en fer, au nombre de 106 par corps de chaudière; ils sont disposés en carré au-dessus des fourneaux, et forment deux faisceaux distincts sur chaque plaque de tête. Ces tubes sont légèrement inclinés en montant de l'arrière vers l'avant. Sur chaque plaque de tête, 26 de ces tubes sont taraudés et reçoivent des écrous extérieurs et intérieurs pour former tirants. — Deux tubes horizontaux par chaudière d_1, placés entre les foyers de côté, un peu au-dessus du plan de leurs axes, forment également tirants, et sont destinés à introduire de l'air dans la boîte à feu, pour parfaire la combustion des gaz.

Les boîtes à fumée E et les courants de flamme sont rapportés, et la partie supérieure de chaque front de chaudière est légèrement rentrée, pour faciliter la circulation des gaz de la boîte à fumée. — La chaudière est d'ailleurs consolidée par de nombreuses armatures et des entretoises.

Au-dessus des deux corps de chaudière se trouve un réservoir de vapeur H',

horizontal, cylindrique, fermé à ses extrémités par des calottes hémisphériques. Ce réservoir communique avec le coffre à vapeur de la chaudière par deux tubulures. — La cheminée est placée au milieu de la longueur de l'appareil, à l'aplomb de la boîte à feu, et les courants de flamme enveloppent complétement le réservoir de vapeur, pour se rendre à la cheminée E″.

La légende suivante complète les explications relatives à cette chaudière.

a,*b*	portes de foyer et portes de cendrier.
C,C′	sole et autel.
e	portes de boîte à fumée.
F′	enveloppe extérieure des courants de flamme.
1	trou d'homme.
2	tubulure de la soupape de sûreté.
3	tubulure de la soupape d'arrêt.
4	trous à sel fermés par des portes autoclaves.
5	carlingues et chantiers d'assise.

Données principales :

Charge de la soupape de sûreté		$4^{kg},21$
Surface de grille		$8^{m.c},10$
Surface de chauffe totale		$219^{m.c},90$
Rapport à la surface de grille	de la section d'ouverture des cendriers	0,235
	de la section tubulaire	0,173
	de la section de la cheminée	9,270
	de la surface de chauffe totale	27,000
Volume d'eau		$13^{m.cub},321$
Volume de vapeur		$24^{m.cub},338$
Poids de la chaudière sans eau		$38\,000^{kg}$

Chaudière cylindrique, tubulaire à retour de flamme à foyers adossés et à bouilleur : autre type anglais. — Avec ce genre de chaudière, représenté par la *fig.* 8, *pl.* VIII, chaque groupe de deux corps forme un appareil complet desservi par une cheminée F. — Chaque corps de chaudière est cylindrique, avec pan coupé sur la façade au-dessus de la plaque à tubes, pour faciliter l'installation du conduit E′ au-dessus de la boîte E. — Il existe, sur chaque façade, trois foyers cylindriques A, ayant une boîte à feu commune D. Entre les deux boîtes à feu D de chaque corps de chaudière, se trouve une lame d'eau G, traversée par de nombreuses entretoises qui relient et maintiennent les deux faces de la boîte à feu. — La partie supérieure de la boîte à feu est plane avec angles arrondis ; elle est consolidée par de nombreuses armatures 1, formant équerre. Les faces latérales et le dessous de la boîte à feu sont cylindriques ; elles sont reliées à la chaudière par de nombreuses entretoises. — Le faisceau tubulaire *d* est partagé en trois groupes, un par foyer. Les tubes des foyers extrêmes, au nombre de 78, sont sur 10 rangées verticales, ayant 8 tubes à la plus grande hauteur. Les tubes du foyer milieu, au nombre de 77, sont placés sur 7 rangées horizontales et 11 rangées verticales. — Sur chaque groupe, un certain nombre de tubes forment tirants pour maintenir les deux plaques de tête.

Fig. 8, Pl. VIII.

En sortant du coffre H, la vapeur de chaque chaudière passe par deux tubulures *h*, et se rend dans un réservoir H′, noyé en grande partie dans la culotte

de la cheminée, qui sert de sécheur et sur lequel se trouve la soupape d'arrêt.

Avec ce genre de chaudière, les chaufferies sont généralement transversales; quelquefois chaque cheminée dessert trois groupes de chaudières.

Fig. 9, Pl. VIII. **Chaudière cylindrique, tubulaire à retour de flamme: type Chevalier et Grenier.** — Cette chaudière, représentée en *fig.* 9, *pl.* VIII, n'a qu'un seul foyer A, cylindrique, et dans lequel la grille *c* prend à peine la moitié de la longueur. Au delà de l'autel, se trouve une partie complétement libre A', que l'on pourrait appeler chambre de combustion des gaz, et qui est prolongée par une boîte à feu cylindrique D. Au fond de la boîte à feu se trouve une porte 1, munie d'un double écran. — Les tubes en fer *d* sont en retour, et enveloppent la moitié du foyer comme le montre la *vue* 2ᵉ. — Ces tubes, rivés sur la plaque de tête de la boîte à fumée E, sont parallèles au foyer jusqu'à la naissance de la boîte à feu; puis ils se coudent, pour s'engager dans des trous pratiqués sur la paroi cylindrique de cette boîte à feu, et sur laquelle paroi ils sont rivés.

Le coffre à vapeur est surmonté d'un réservoir cylindrique H', sur lequel se raccorde le tuyau de prise de vapeur de la machine, en 2, et la soupape de sûreté en 3. — La chaudière est assise sur trois carlingues *f* en tôle, formant double T.

Ce genre de chaudières a donné de bons résultats sur les bateaux omnibus de la Seine. Elle fonctionne à une pression absolue de 7^{at}. Les tubes ont 90^{mm} de diamètre. Pour une puissance de 20^{ch} nominaux, soit 53^{ch} à 55^{ch} de 75^{km}, on a :

Surface totale de grille	$0^{m.q},95$
Surface totale de chauffe.	$32^{m.q},00$
Volume de vapeur	$3^{m.cub},164$

Chaudières Scott de Gréenock. — Le corps cylindrique est parcouru inférieurement par trois carneaux à l'avant desquels sont les grilles desservies par trois portes. La flamme fait retour par des tubes aboutissant à la boîte à fumée; cette dernière se recourbe en un dôme régnant sur toute la chaudière et débouchant ensuite dans la cheminée. La sortie de la vapeur a lieu par deux tubes concentriques traversant le dôme, et dans lesquels elle circule successivement, et qui constituent un sécheur. Deux chaudières identiques sont adossées et ont une cheminée commune. L'appareil évaporatoire est formé par des corps semblables, placés longitudinalement dans le navire, et laissant entre eux une coursive. Les chaufferies sont par suite transversales. La pression de régime est de 5^{at}. — Dans ce genre de chaudière, les trois carneaux, qui ont un assez grand diamètre, font l'office de boîte à feu pour que la combustion soit avancée avant que les gaz pénètrent dans les tubes.

Divers types de chaudières américaines cylindriques. — Presque toutes les chaudières des steamers de rivière fonctionnent à haute pression. On rencontre fréquemment les types suivants :

1° *Chaudières à foyer intérieur elliptique*, le grand axe horizontal, et à

deux grands carneaux cylindriques pour retour de flamme au lieu de tubes. La grille n'occupe que le tiers environ de la largeur de la chaudière ; la partie située derrière l'autel forme une chambre de combustion. La boîte à feu a la partie supérieure arrondie à l'angle opposé à la plaque de tête ; il en est de même des côtés latéraux qui viennent se raccorder sur le prolongement du cendrier. — Ce type de chaudière a une longueur double de son diamètre ; la surface de chauffe directe est considérable, mais la surface de chauffe indirecte est beaucoup plus faible. — Les divers corps du même appareil sont placés côte à côte, et déversent leur vapeur dans un collecteur cylindrique placé en travers, au-dessus, et avec lequel ils communiquent par une tubulure également cylindrique.

2° *Chaudières à retours de flamme multiples.* — Ce type de chaudière est tubulaire ; les tubes sont en fer et d'un très-grand diamètre : ils sont placés à la suite du foyer et occupent presque toute la section de la chaudière. Un tout petit volume du corps cylindrique est réservé à la vapeur ; le véritable coffre à vapeur est formé par un deuxième cylindre qui surmonte le premier, et avec lequel il communique par plusieurs tubulures. Les gaz font quatre parcours dans les tubes qui ont un diamètre égal à 0,1 environ de celui de la chaudière. 4 tubes sont employés au premier parcours ; 5 tubes sont employés au parcours de retour ; 7 tubes servent pour le deuxième parcours d'aller ; et enfin 4 tubes servent au deuxième parcours de retour. — Contrairement au type précédent, ce genre de chaudière a une surface de chauffe directe très-faible, et une surface de chauffe indirecte très-étendue.

3° *Chaudières à carneaux et à tubes.* — Dans ce genre de chaudières, la flamme sortant du foyer pénètre dans un série de carneaux cylindriques qui font suite ; puis elle vient en retour par une série de petits tubes placés au-dessous des carneaux, et enfin se rend dans la cheminée en passant dans une deuxième série de carneaux placés au-dessous des tubes.

Chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme à haute pression pour canots à vapeur. — Outre les chaudières *Belleville*, dont il sera question au n° 61, on rencontre sur les canots, suivant leur grandeur, deux types réglementaires qui sont représentés par les *fig.* 10 et 11, *pl.* VIII. Le type *fig.* 10 est employé sur les canots de 8^m,85, le type *fig.* 11 sur les canots de 13 mètres. Ces chaudières sont construites par *Claparède*, d'après les plans de *M. Mangin*. — La légende adjointe à la *pl.* VIII donne une description suffisamment détaillée de ces générateurs ; nous y ajouterons les renseignements suivants :

DÉSIGNATION.	POUR CANOT DE $13^{m},00$. Fig. 11, pl. VIII.	POUR CANOT DE $8^{m}85$. Fig. 10, pl. VIII.
Pression absolue	$6^{at},00$	$6^{at},00$
Puissance en chevaux de 75 *Km*. . .	$20^{ch},00$	$14^{ch},50$
Surface de chauffe directe.	$3^{m.c},65$	$1^{m.c},79$
— tubulaire	$6^{m.c},60$	$3^{m.c},96$
— totale.	$10^{m.c},25$	$5^{m.c},75$
Surface de grille.	$0^{m.c},38$	$0^{m.c},20$
Tubes en laiton. Nombre	42	28
Tubes en laiton. Diamètre extérieur	$0^{m},054$	$0^{m},054$
Tubes en laiton. Diamètre intérieur	$0^{m},050$	$0^{m},050$
Tubes en laiton. Longueur	$1^{m},000$	$0^{m},900$
Tubes en laiton. Section totale	$0^{m.c},081$	$0^{m.c},055$
Section de la cheminée.	. $0^{m.c},06$	$0^{m.c},03$
Volume d'eau	$0^{m.cub},560$	$0^{m.cub},360$
Volume de vapeur	$0^{m.cub},404$	$0^{m.cub},190$
Poids de la chaudière vide avec ses accessoires.	1.500^{kg}	1.033^{kg}
Poids de la chaudière pleine avec ses accessoires.	2.100^{kg}	1.393^{kg}

N° 60_3 Tuyautage complet de la machine et des chaudières d'un bâtiment ainsi que des appareils annexes. — Une dépêche ministérielle du 31 octobre 1867 a réglé comme suit la disposition du tuyautage d'alimentation et les prises d'eau des appareils moteurs des bâtiments de la flotte.

Le trop-plein du tuyautage d'alimentation doit être placé à côté de la bâche, avec clapet de retour à la bâche, et non pas près des robinets de prise d'eau à la mer qui doivent être fermés en marche. En outre, il ne doit y avoir qu'une seule prise d'eau à la mer pour l'alimentation.

Aucune prise d'eau ni aucun robinet ne doivent se trouver dans les soutes à charbon. Toutes les prises d'eau doivent être réunies dans la chambre des machines et être situées dans les portions de la muraille toujours accessibles et où il n'existe pas de soutes.

Les ouvertures percées à travers la muraille, au-dessous de la flottaison, pour l'introduction et l'évacuation de l'eau, doivent d'ailleurs se réduire à sept dans les machines à condensation par mélange, savoir : deux pour l'évacuation des condenseurs, deux pour l'injection, une pour l'extraction continue, une pour le plein des chaudières, l'alimentation avec les petits chevaux et l'extinction des feux, et une pour l'évacuation de la pompe de cale ordinaire. — Quant à l'évacuation

de la grande pompe d'épuisement, lorsqu'elle existe, elle doit se faire au-dessus du pont de la batterie.

Avec les condenseurs à surface, les prises d'eau d'injection sont remplacées par les prises d'eau des pompes de circulation. Dans le cas de trois ou quatre condenseurs, comme sur le *Redoutable* (n° 31_1) ou le *Tourville* (n° 31_2), chaque pompe de circulation doit avoir sa prise d'eau particulière; mais les refoulements peuvent se faire par une seule sortie ou par deux seulement.

La disposition du tuyautage d'un appareil moteur varie non-seulement avec le type de la machine et le type des chaudières, mais encore avec l'état des lieux. — Actuellement, le tuyautage devient très-compliqué à cause des nombreux appareils auxiliaires installés à bord, tant pour le service de la machine et des chaudières que pour celui du bâtiment. — Nous donnons *fig.* 12, *pl.* VIII, comme exemple, la disposition du tuyautage du paquebot transatlantique *la France* (n° 27_3), qui est un des plus complets, et parce que ce bâtiment possède à peu près toutes les installations mécaniques que l'on est susceptible de rencontrer. La légende adjointe à la *pl.* VIII donne tous les renseignements qui s'y rapportent.

N° 60_4 Types divers de chaudières tubulaires à flamme directe. — Les chaudières tubulaires à flamme directe, c'est-à-dire qui ont les tubes dans le prolongement du foyer, ont l'avantage d'occuper peu de place en hauteur. Elles ont été appliquées en principe sur les canonnières, qui avaient peu de tirant d'eau et sur lesquelles on voulait cependant avoir les générateurs à l'abri du pont. Celles qui existent encore ont la forme cylindrique, à un seul foyer, dont le ciel est fortement consolidé par des armatures. Celles-ci ne sont autres que des segments de couronne posés sur champ et tenues par de longs rivets. Le faisceau tubulaire en prolongement du foyer fait partie d'un corps beaucoup plus grand, qui tantôt est complétement cylindrique, et tantôt a la base et les faces latérales planes, mais qui, dans ce cas, est consolidé par de nombreux tirants. La boîte à fumée est dans la partie arrière; elle est munie d'une porte pour le nettoyage des tubes. Les chaudières sont toujours placées dans le sens longitudinal du bâtiment, et la chaufferie est en travers.

On rencontre encore des chaudières à flamme directe sur quelques bâtiments anglais, sur les paquebots américains de rivière et sur les canots à vapeur.

Fig. 2, Pl. VII.

Type anglais de chaudières tubulaires à flamme directe à double corps. — Un des types anglais les plus importants des chaudières qui nous occupent, est représenté par la *fig.* 2 *pl.* VII dont voici la légende :

A	foyers, au nombre de trois par corps, débouchant dans une boîte à feu commune D.
a,a	portes de foyers. Ces portes sont à deux battants, chaque battant est percé de 8 trous et porte intérieurement du côté de la sole, un écran demi-cylindrique percé en crépine d'un très-grand nombre de petits trous, pour diviser l'air et le faire arriver en filets très-minces sur le charbon.
b,b	portes de cendriers, sans ventouses.
c,c	barreaux de grilles, en deux rangées pour chaque foyer.
D,D'	boîte à feu. La première partie D de la boîte à feu est transversale par rapport aux foyers ; la seconde D' est dans le sens même de ces foyers, et tout à fait sur le côté de la chaudière.
d,d	tubes, dans une direction transversale par rapport aux foyers.
E	boîte à fumée, munie de portes *e* pour le nettoyage des tubes.
G	lames d'eau entre les foyers, et autour des foyers ainsi qu'autour des tubes et de la boîte à feu.
J	boîte de la soupape d'arrêt ou de prise de vapeur
K	tuyau de vapeur.
N	régulateur d'alimentation.
P	robinet et tuyau d'extraction à hauteur de niveau.
1	portes autoclaves de trou à sel.
2	trou d'homme.

Cette chaudière est à faces planes et fonctionne à haute pression. Les consolidations consistent surtout en des entretoises nombreuses et d'un très-grand diamètre, taraudées dans la tôle et tenues extérieurement par un écrou. Les tirants également très-nombreux, et d'un très-grand diamètre, sont tenus par des écrous intérieurs et extérieurs. Ce genre de chaudière s'use très-rapidement aux parties arrondies des lames d'eau qui séparent les foyers et s'avancent dans la boîte à feu.

Fig. 1, Pl. IX.

Chaudière cylindrique à flamme directe pour canot, de M. Oriolle, de Nantes. — Ce type est représenté par la *fig.* 1, *pl.* IX. La chaudière est verticale ; elle comporte un seul foyer intérieur de forme tronconique, à axe vertical, au bas duquel est placée en B une grille circulaire mobile qui reçoit le combustible. — La chaudière est à plusieurs compartiments : la paroi extérieure F est parfaitement cylindrique ; elle est construite en tôle. La paroi intérieure A, qui forme le foyer, est en cuivre rouge ; elle est d'abord conique et ondulée comme l'indique la *vue* 3°, ce qui augmente la surface de chauffe, puis elle se rétrécit et devient cylindrique pour se fixer à la partie supérieure du manchon D ; le dôme de la chaudière se fixe à la partie inférieure de ce manchon. L'espace annulaire entre le manchon D et la partie cylindrique du foyer, forme le sommet du coffre à vapeur H, et sert de sécheur. — Sur la paroi A, et à mi-hauteur du foyer, se fixe un manchon cylindrique *f*, en tôle d'acier, qui n'atteint pas le niveau et partage la chambre à eau en deux compartiments, 2 et 3, ce dernier seul descendant jusqu'à la base de la chaudière.

Au-dessus du manchon D s'en place un second D', muni de la porte *a* par laquelle on remet du combustible sur la grille. La cheminée E", qui peut être à rabattement, se monte sur le manchon D'. Autour de la cheminée et jusqu'au sommet, se trouve un manchon en tôle d'acier qui forme une lame d'eau annulaire 1, destinée à servir de réchauffeur à l'eau d'alimentation.

L'eau refoulée par la machine pénètre dans la capacité 1 par le tuyau I ; l'alimentation avec la pompe à bras ou avec le giffard se fait par le tuyau '. La lame d'eau 1 communique avec le fond de la chambre à eau 2 par le tuyau 4 ; le haut de la lame 1, qui contient de la vapeur, communique avec le sommet du coffre de la chaudière par le tuyau 5. — Grâce à ces diverses dispositions, voici comment circule l'eau dans la chaudière. Elle arrive par les tuyaux I ou I' dans le bas de la lame à eau 1, dont le niveau tend à s'élever ; puis elle se déverse par le tuyau 4 dans la chambre à eau 2. Celle-ci étant pleine, l'eau se déverse par-dessus le manchon *f*, et tombe dans la chambre à eau 3. Il se forme de la vapeur dans les trois capacités qui contiennent de l'eau ; celle qui se forme dans les capacités 2 et 3, monte naturellement dans le coffre H ; celle qui se forme dans la capacité 1, vient dans le coffre H par le tuyau 5.

Sur le manchon D se trouvent en outre deux tubulures ; l'une V pour la prise de vapeur, l'autre O pour la soupape de sûreté. Enfin sur le manchon D' se trouve le conduit E d'évacuation de la machine, qui est terminé par une tuyère débouchant dans la cheminée.

Pour allumer le feu, on est obligé de retirer la grille ; on la charge et on ne la remet en place qu'après avoir établi la combustion du charbon qu'on y a placé. Pendant la marche, l'alimentation du foyer se fait par la porte *a*, pratiquée dans le manchon D'.

Dans la construction de cette chaudière, on a eu pour but de conserver jusqu'au dernier moment les gaz chauds en contact avec des parois baignées par l'eau, de réchauffer progressivement cette eau et de diminuer le plus possible le volume du générateur. D'autre part, le foyer se rechargeant par la base de la cheminée, les refroidissements dus à l'ouverture de la porte du fourneau sont évités. Cette chaudière remplit parfaitement le but que son auteur s'est proposé ; mais elle est d'un accès difficile, et presque irréparable sans un démontage complet. D'un autre côté, l'on ne sait jamais comment le charbon est disposé sur la grille, puisqu'on ne le voit pas ; on est par suite exposé, soit à engorger le fourneau, soit à laisser une partie de la grille à découvert.

Chaudière tubulaire à flamme directe pour grande embarcation, de M. Binet. — Cette chaudière est représentée par la *fig.* 2, *pl.* IX. Le corps est cylindrique, et surmonté d'un réservoir de vapeur cylindrique vertical. Les tubes sont dans le prolongement du foyer, et la boîte à fumée, qui est sur l'arrière, renferme un serpentin qui fait l'office de surchauffeur. Voici la légende de cette figure : Fig. 2, Pl. IX.

A,B fourneau de forme elliptique ; la paroi inférieure du cendrier B est reliée au bas de la chaudière par des entretoises 1,1 ; le ciel du foyer A est reliée au dôme de la chaudière par deux forts tirants 2, 2.

a porte du foyer s'ouvrant dans un plan vertical, du haut en bas. La section démasquée par cette porte n'est que la moitié environ de la section du foyer.

b porte de cendrier, formée d'une tôle fixe, échancrée à sa partie inférieure pour l'introduction de l'air et le nettoyage du cendrier.

C grille; elle n'occupe que les deux tiers de la longueur du fourneau. Un autel très-élevé C' oblige la flamme qui se développe sur la grille à s'élever presque perpendiculairement au plan de cette dernière.

D chambre à feu où se développe la flamme avant de pénétrer dans les tubes. L'écran 3 la sépare complétement du cendrier, il n'existe pas de trou pour l'introduction de l'air.

d tubes en laiton au nombre de 142, portés par deux plaques de tête qui sont reliées l'une à l'autre par un fort tirant central 4.

E boîte à fumée, formée d'un corps cylindrique accolé à la chaudière, et sur lequel est montée la cheminée F.

e, serpentin logé dans la boîte à fumée et servant de surchauffeur. Ce serpentin est formé de tubes en fer placés deux à deux dans un même plan horizontal, reliés d'un côté par un coude, et se fixant, d'autre part, sur deux tubes verticaux. L'un de ces tubes verticaux communique directement avec la chaudière; le second communique avec le premier par les éléments indépendants du serpentin, et reçoit le tuyau de vapeur.

e',*e'* portes de la boîte à fumée.

F,F' cheminée en tôle. La partie F est fixée sur la boîte à fumée; la partie F' est à charnières sur la première; les collerettes d'appui sont très-larges, et la cheminée n'est tenue mâtée que par le linguet 5.

G chambre à eau, formée par la lame d'eau qui entoure le fourneau et par la capacité que traversent les tubes.

H,H' chambre à vapeur et réservoir cylindrique de vapeur. La commmunication de ces deux capacités se fait au moyen de trous percés sur la tôle de la chaudière, dans toute la partie qu'embrasse le réservoir H'; cette disposition diminue les entraînements d'eau.

I,*i* tuyau et soupape d'alimentation.

J manomètre communiquant avec le réservoir de vapeur H'.

K robinet d'extraction continue. Ce robinet est à deux voies, ce qui permet de prendre de l'eau soit dans le bas de la chaudière par le tuyau *k*, soit à hauteur de niveau par le tuyau k_1.

L soupape de sûreté, formée par un simple clapet que le levier L' appuie sur son siége. Ce levier est d'ailleurs engagé dans l'entaille d'un guide 6 qui limite la levée de la soupape.

l boîte à ressort formant la charge de la soupape de sûreté à l'extrémité du levier L.

M tube de niveau et robinets-jauges.

N sifflet de signal.

O godet à double robinet pour introduire de l'huile dans la chaudière dans le but de combattre les ébullitions.

P soupape de prise de vapeur, donnant la vapeur au serpentin *e*.

p appendice de prise de vapeur traversant le dôme de la chaudière et montant dans le réservoir H'. Cet appendice est terminé par une pomme d'arrosoir, pour éviter les entraînements d'eau.

Q tuyau d'évacuation du cylindre dans la cheminée, pour activer le tirage quand la machine fonctionne.

q souffleur à vapeur pour activer le tirage pendant les allumages, ou pendant les arrêts quand il y a lieu.

S pattes d'attache de la chaudière sur les carlingues.

s oreillles pour élinguer la chaudière.

V prise de vapeur au serpentin.

1,2 entretoises et tirants, reliant le foyer à l'enveloppe.

3 écran de séparation du cendrier B et de la boîte à feu D.

4 tirant reliant les plaques de tête.

5 linguet fixant la partie mobile de la cheminée.
6 guide du levier de la soupape de sûreté.
7 crépine du tuyau de prise de vapeur pour éviter les entraînements d'eau.
8 robinets de purge du serpentin.
9 portes de nettoyage de la chaudière.
10 trou d'homme pour pénétrer dans la chaudière.

La chaudière *Binet* nous paraît très-bien étudiée : grâce à la forme elliptique du fourneau, la surface de grille est très-grande ; eu égard aux dimensions de la chaudière, la boîte à feu D est très-vaste et la surface de chauffe tubulaire est considérable.

Surface de grille		$38^{dm.c},50$
Surface de chauffe	directe	$1^{m.c},22$
	tubulaire	$15^{m.c},05$
	totale	$16^{m.c},27$
Rapport à la surface de grille	de l'ouverture du cendrier	0,035
	de la section tubulaire	0,586
	de la section de la cheminée	0,160

Avec l'échappement par la cheminèe, cette chaudière peut brûler facilement 75 kilog. de charbon par mètre carré de grille et par heure, soit $75^{kg} \times 0,385 = 28^{kg},9$ pour toute l'étendue de la grille, ce qui, à raison de $1^{kg},20$ par cheval, correspond à une puissance de 24 chevaux.

Chaudières à flamme directe à carneaux. — On rencontre sur un grand nombre de bateaux américains de rivière, des chaudières à flamme directe dans lesquelles des carneaux cylindriques remplacent les tubes. Quelquefois, dans le but d'augmenter la surface de chauffe, il existe deux et même trois séries de carneaux pour le parcours de la fumée ; c'est-à-dire que les produits de la combustion passent d'abord dans une série de carneaux en prolongement du foyer, reviennent par une deuxième série de carneaux, et débouchent dans la cheminée, ou même parcourent encore une troisième série de carneaux faisant un nouveau retour, et dans ce cas, la cheminée est au bout de la chaudière. Cette dispositon n'est pas usitée sur les bâtiments de haute mer.

61. — 1. Chaudières à tubes renfermant l'eau. — 2. Types divers de chaudières à tubes verticaux renfermant l'eau. — 3. Types divers de chaudières à tubes horizontaux ou légèrement inclinés renfermant l'eau. — 4. Chaudière Belleville pour canot à vapeur. — 5. Appareil évaporatoire Belleville pour navire ; description détaillée de l'épurateur et de l'automoteur alimentaire. — 6. Derniers perfectionnements apportés aux appareils Belleville pour navire. — 7. Fonctionnement des chaudières Belleville. — 8. Avantages et inconvénients des chaudières Belleville. — 9. Considérations diverses relatives aux chaudières Belleville et en général aux chaudières à haute pression. — 10. Réparateurs des pertes d'eau douce.

N° 61_1 Chaudières à tubes renfermant l'eau. — Dans le genre de chaudières qui nous occupe, les tubes renferment l'eau et

sont chauffés extérieurement. — Les tubes d'eau peuvent être horizontaux, légèrement inclinés ou verticaux. La circulation est généralement assurée dans les tubes verticaux ou inclinés, par le seul fait de l'ascension des bulles de vapeur. Il faut toutefois que ces tubes aient une large communication avec un réservoir inférieur d'une capacité suffisante, pour que l'eau ne soit pas absorbée par certaines séries de tubes au détriment des autres. — Il n'en est pas de même pour les tubes horizontaux, et l'insuccès de la plupart des chaudières de ce genre est généralement dû à une insuffisance de circulation de l'eau. En effet, dans tous les types à tubes horizontaux, la vapeur doit traverser un espace plus ou moins grand, horizontalement ou à peu près, avant d'arriver à se mouvoir verticalement suivant sa voie naturelle. Dans quelques types, la vapeur rencontre même des obstacles répétés dans le cours de ses déviations horizontales. Dans ces conditions, le mouvement horizontal ne peut se produire que par suite de la force développée par les bulles de vapeur qui s'élèvent verticalement dans le tube, normalement à son axe, et qui poussent, comme des coins, les bulles déjà formées et emmagasinées vers la génératrice supérieure des tubes.

Les traits principaux d'une bonne circulation sont : une voie verticale bien nette pour la vapeur aussitôt qu'elle est produite; des cheminements distincts de haut en bas pour l'eau et de bas en haut pour la vapeur, et enfin, un accès commode pour enlever les incrustations.

N° 61, Types divers de chaudières à tubes verticaux renfermant l'eau. — Les chaudières à tubes verticaux renfermant l'eau sont de deux genres : les tubes sont en penditif, c'est-à-dire fermés à leur extrémité inférieure et montés sur une plaque de tête par leur autre extrémité, ou bien les tubes sont fixés sur deux plaques de tête horizontales.

Jacob Perkins paraît être celui qui a imaginé le premier les tubes en penditif; mais il les employait sans tube intérieur, de sorte que l'eau se renouvelait par soubressauts; il en résultait que les tubes étaient fréquemment exposés à être brûlés. *Field* modifia ce système par l'adoption d'un tube intérieur destiné à assurer la circulation de l'eau.

Fig. 3, Pl. IX. **Chaudières avec tubes en penditif : système Field.** — Les chaudières de ce type, construites en France par *Imbert et Cie à Saint-Chamond*, sont représentées par la *fig.* 3, *pl.* IX. Ces chaudières ne sont pas employées

sur les bâtiments, mais on les trouve dans un grand nombre d'ateliers. Voici la légende de cette figure :

A,B	foyer et cendrier. Le foyer est cylindrique avec ciel très-élevé et horizontal ; il est entouré d'eau de toutes parts, à l'exception de la partie qui correspond à la porte *a*. Le cendrier cylindrique comme le foyer est formé par une maçonnerie sur laquelle la chaudière est assise.
C	grille circulaire en fonte, formée de 4 segments, afin qu'on puisse l'introduire par la porte *a* du foyer.
D	tubes en penditif, en fer, fermés à la partie inférieure et emmanchés de haut en bas, dans des trous coniques pratiqués au ciel du foyer qui forme plaque de tête. Les tubes *d* emboîtés dans les premiers, mais n'allant pas jusqu'au fond, sont retenus à la partie supérieure par un petit croisillon. Ces tubes *d* sont en outre prolongés par un petit entonnoir. La vapeur se formant au contact des tubes D que lèche la flamme, s'élève dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes, tandis que l'eau descend par l'intérieur du tube *d*. L'entonnoir qui termine le tube intérieur a pour but de rendre les bulles de vapeur divergentes afin qu'elles ne gênent pas l'arrivée de l'eau.
E	écran empêchant la flamme de s'élever directement dans la cheminée et l'obligeant à lécher les tubes D. Cet écran est suspendu par une tringle à une traverse fixée à la base de la cheminée.
F	Cheminée cylindrique dont l'axe se confond avec celui de la chaudière. Cette cheminée est munie d'un registre.
G	lame d'eau annulaire entourant le foyer.
H	coffre à vapeur. Le sommet de la chaudière est distant du ciel du foyer d'une quantité un peu supérieure à la longueur des tubes, afin que ceux-ci puissent être facilement démontés et remis en place.
V	robinet de prise de vapeur.
1	soupapes de sûreté au nombre de deux dans la même boîte.
2	contre-poids des soupapes de sûreté 1, 1, agissant à l'extrémité de leviers.
3	robinet d'alimentation.
4	robinet de vidange.
5	tube de niveau.
6	robinets-jauges formés par de petites soupapes à vis.
7	manomètre.
8	trou d'homme pour pénétrer dans la chaudière.
9	portes de nettoyage.

Ces chaudières sont généralement timbrées à 6 kilogrammes ; elles ont depuis 1 mètre carré jusqu'à 60 mètres carrés de surface de chauffe ; la surface de grille varie de 10$^{dm.c}$,7, à 213$^{dm.c}$,7 ; la surface de chauffe, qui est toute directe, vaut 11 fois seulement la surface de grille dans le plus petit modèle, et atteint 28 fois cette même surface dans le plus grand. D'autre part, le nombre des tubes varie suivant les dimensions, depuis 8 jusqu'à 182.

Le système des tubes *Field* est très-favorable à la circulation de l'eau et par suite à l'absorption rapide du calorique. Ces tubes se mettent en place avec la plus grande facilité, puisqu'ils sont emmanchés coniquement sur la plaque de tête ; la pression de la vapeur les maintient en place. Le démontage, soit pour le nettoyage, soit pour le remplacement, s'effectue par une simple poussée de bas en haut que l'on exerce avec un cric.

Ce genre de chaudières est très-résistant en raison de sa forme cylindrique ; la plaque de tête seule a besoin d'être reliée par des tirants au dôme de

la chaudière lorsque cette dernière a de grandes dimensions. En cas d'avarie dans un tube, il se produit tout simplement une fuite qui éteint le feu; par suite, les explosions ne sont pas à craindre.

Chaudière Armand Girard. — M. *Girard*, constructeur à Paris, a apporté aux tubes *Field* la modification suivante : le tube intérieur au lieu d'être terminé par un entonnoir, s'élève de 10 à 15 centimètres au-dessus du tube extérieur, et reste cylindrique sur toute sa longeur. L'épaisseur de la couche d'eau qui recouvre les tubes est plus grande que dans les chaudières *Field*. Cette disposition a pour but d'assurer une meilleure circulation de l'eau dans les tubes, résultant de la plus grande charge qui pèse sur la partie inférieure du tube intérieur, celui-ci étant plus long et ne contenant que peu ou point de vapeur. Par ailleurs, la chaudière *Girard* diffère fort peu de la chaudière *Field*; à égalité de surface de chauffe, les dimensions sont à peu près les mêmes, et les tubes en égal nombre.

Le diamètre des tubes extérieurs est de $0^m,120$ et celui des tubes intérieurs de $0^m,050$.

Fig. 4, Pl. VII. **Chaudières à tubes en penditif renfermant l'eau : système Lagrafel de Marseille.** — Cette chaudière est à parois tubulaires, à ciel de foyer tubulaire, avec tubes en penditif chauffés en retour. On la rencontre sur quelques bâtiments de la compagnie *Fraissinet* de Marseille. Elle est représentée par la *fig.* 4, *pl.* VII; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée.

Le corps principal de la chaudière F, H, a la forme demi-cylindrique; il est supporté aux quatre angles par les deux grands tubes g, placé sur l'arrière du fourneau et par les deux tubes g', g'' placés sur l'avant. Ces quatre tubes verticaux sont rivés sur le réservoir inférieur G, G', G, qui forme la base de la chaudière. De ce réservoir inférieur, et dans l'intervalle des grands tubes se placent trois séries de tubes verticaux d, d', d, qui sont rivés sur la base du corp F, H de la chaudière, et qui sont tenus sur le réservoir inférieur, G, G', G, par des presse-étoupe. Ces tubes verticaux forment les parois de la chaudière. Cette paroi est complétée, à l'extérieur des tubes, par une maçonnerie en briques réfractaires recouverte de panneaux démontables en tôle. Tout autour de la grille, et à une hauteur un peu supérieure à la couche de charbon, se trouve également une maçonnerie en briques réfractaires qui limite le foyer. Du tube bouilleur G″ part une série de petits tubes d'' d'abord légèrement inclinés, et se relevant ensuite verticalement pour être rivés sur la base de la chambre à eau F. Une maçonnerie n, en briques réfractaires, couvre la partie horizontale des tubes d'', et forme le ciel du foyer. Cette maçonnerie oblige la flamme à se développer dans la boîte à feu D, pour venir ensuite en retour.

Les tubes en penditif d_1 sont tout simplement emmanchés dans des trous coniques de la plaque de tête; la pression de la vapeur rend le joint étanche. La circulation de l'eau dans ces tubes est assurée par une simple lame de tôle r, emmanchée dans leur intérieur, et perpendiculairement à l'axe du fourneau. Cette lame laisse dans le fond du tube un vide de 6 centimètres de hauteur

La vapeur monte du côté où arrive la flamme et l'eau descend par l'autre côté. La circulation de l'eau est très-active dans cette chaudière; l'alimentation se fait dans le collecteur transversal inférieur G, d'où elle se distribue dans les collecteurs latéraux G'. Cette eau s'élève par les petits tubes *d*, *d'*, *d*, redescend par les tubes *g'* dans le bouilleur G', et remonte par les tubes inclinés *d'*. Le bouilleur G'_1 reçoit encore de l'eau par les deux tubes verticaux *g'*, *g'*, qui le mettent en communication avec les collecteurs latéraux G', G'.

Outre la circulation rapide de l'eau, cette chaudière a l'avantage de présenter une grande surface de chauffe très-bien disposée pour absorber la chaleur. Aucune des parties de cette surface de chauffe ne présente de double épaisseur de tôle, comme dans les foyers ordinaires. La combustion se fait bien et d'une manière presque complète. Cette chaudière a fait un très-bon service, même en fonctionnant à l'eau salée, et on n'a jamais eu à constater le moindre accident. Toutefois son emploi ne s'est pas répandu; elle a été remplacée par une chaudière à tubes horizontaux du même ingénieur.

Chaudière cylindrique à tubes verticaux renfermant l'eau, système Lee et Learnd. — Cette chaudière, qui est représentée par la *fig.* 3, *pl.* VII, a été construite dans les ateliers de *Mazeline*, pour la pompe *Lee et Learnd* représentée par la *fig.* 22, *pl.* VII. La légende adjointe à la *pl.* VII donne la description de ce générateur. Fig. 3, Pl. VII.

La chaudière est cylindrique, verticale et à un seul foyer. L'eau qu'elle contient est chauffée par trois séries de tubes.

— La première série *g*, *g'* prend naissance dans la couronne annulaire G où se fait l'alimentation et qui entoure le foyer ; les tubes qu'elle comprend sont presque tous au pourtour de la chaudière et aboutissent à une première plaque à tubes supérieure. Quatre tubes seulement de cette série, les tubes *g'*, établissent une communication avec une bâche placée au-dessus du foyer et servant de plaque à tubes à double fond.

— Les tubes d_1, de la seconde série, ont le même aboutissement que les tubes du pourtour de la chaudière; il prennent naissance au-dessus de la bâche cylindrique de peu de hauteur, que rafraîchit l'eau d'alimentation amenée par les quatre tubes *g'* de la première série.

— Les tubes *d'* pour la fumée, passent dans l'intérieur des tubes d'eau de la seconde série et prennent naissance à la partie inférieure de la bâche G' ; ils aboutissent à la partie supérieure de la chambre à vapeur, qui se trouve être ainsi une chambre de surchauffe. Une forte tôle entoure cet ensemble, et complète la chaudière qui se présente entièrement sous la forme d'un cylindre de $0^m,940$ de diamètre et de $2^m,210$ de hauteur, et se termine par un dôme d'où sort la cheminée.

L'eau nécessaire à l'alimentation est prise dans un réservoir alimenté par la machine et placé derrière les cylindres.

Au moyen des dispositions qui viennent d'être décrites, la surface de chauffe est de $23^{m.c.}$, le volume d'eau 365 litres et celui de la vapeur 68 litres, et l'on peut obtenir de la vapeur très-peu de temps après l'allumage du feu, en même temps qu'une production continuelle très-rapide et à une pression élevée.

Cette chaudière demandait à être complétée par des appareils de sûreté bien compris, qui pussent la défendre contre ses principaux avantages, qui sont un faible volume d'eau et une production rapide. La soupape de sûreté, le robinet de jauge tournant, avec tube plongeur pour prendre l'eau à diverses hauteurs, le sifflet d'alarme, répondent à cette nécessité et sont remarquables par les détails nouveaux qu'ils présentent.

Chaudière cylindrique verticale, à tubes verticaux renfermant l'eau : type de Ashton. — Ce type, qui se rencontre sur quelques navires de la marine anglaise d'une puissance de 80 chevaux, est représenté par la *fig.* 4, *pl.* IX dont voici la légende :

Fig. 4, Pl. IX.

A,B foyer et cendrier. L'ensemble du fourneau a la forme d'un demi-tore, prolongé inférieurement par le cendrier dont la section horizontale est une couronne circulaire. Au centre du fourneau, se trouve une lame d'eau cylindrique G''.

a,b porte de foyer et porte de cendrier. Il existe deux portes pour le chargement du foyer, situées une de chaque côté de la façade, *vue* 1°.

c grille circulaire. Les trois quarts de la surface de la grille sont formés par des barreaux d'égale longueur. Les autres barreaux sont ajustés pour combler les vides.

D,D' conduits circulaires pour amener les produits de la combustion dans les courants de flamme D_1 derrière les tubes *d*. Le conduit D est au fond du fourneau ; les deux conduits D' d'un diamètre plus petit, sont sur les côtés, à l'extrémité du même diamètre.

D_1 courant de flamme, ayant la forme d'un tambour, et traversé verticalement par les tubes à eau *d*.

d tubes verticaux renfermant l'eau. Ces tubes sont montés sur deux plaques de tête parallèles. La flamme lèche ces tubes en circulant horizontalement de l'arrière et des côtes de la chaudière, vers l'avant.

E boîte à fumée, rapportée, et située sur l'avant.

e porte de boîte à fumée.

E' culotte de la cheminée enveloppant le réservoir de vapeur H'.

E'' cheminée cylindrique, dont l'axe est dans le prolongement de celui du réservoir de vapeur H'.

E_1 enveloppe extérieure de la boîte à fumée et de la culotte de la cheminée. Un corps mauvais conducteur de la chaleur, tel que des escarbilles, remplit le vide laissé entre les deux enveloppes.

F,F' paroi extérieure de la chaudière, de forme cylindrique en F, et terminée à la partie supérieure par une demie-sphère F'. Entre la partie cylindrique F et le fourneau, ainsi qu'entre cette partie et les courants de flamme, existe une lame d'eau annulaire G.

G chambre à eau et lames d'eau.

G' lame d'eau cylindrique placée dans l'axe de la chaudière, et mettant en communication la chambre au-dessus du fourneau avec la partie supérieure.

G'' lame d'eau cylindrique dans l'axe du fourneau.

g deux tubes horizontaux mettant en communication la lame d'eau G'' avec la lame d'eau annulaire G qui entoure le fourneau.

H,H' coffre à vapeur, demi-sphérique, et réservoir cylindrique de vapeur. Ce dernier est monté sur le coffre H, dont la paroi est percée en crépine au point de jonction.

L,*l* boîte de la soupape de sûreté et tuyau d'échappement de cette soupape. — Suivant le mode adopté dans la marine anglaise, la soupape de sûreté est chargée directement et le tout est renfermé dans la boîte L.

V tuyau de prise de vapeur.

S cloisons de soutes, entourant la chaudière sur la moitié de sa circonférence.

1 **portes de nettoyage** des courants de flamme et de l'extérieur des tubes.
2 **giffard à vapeur** pour nettoyer les tubes et les courants de flamme D,D'; il existe, sur le pourtour de la chaudière, quatre giffards semblables.
3 **tuyau de purge** du réservoir de vapeur H'
4 **cloison obligeant** la vapeur à lécher la paroi du réservoir H' et, par suite, à se sécher au contact de cette paroi.
5 **cercles en** fer, placés comme des frettes autour de la partie cylindrique F de la chaudière.
6 **armatures** en tôle pour consolider les plaques de tête des tubes *d*.
7 **trous de sel** pour nettoyer le dessus du foyer.

Ce genre de chaudière présente une étendue de surface de chauffe directe considérable. La circulation se fait de bas en haut par le tube D, et le retour de l'eau est assuré, non-seulement par la lame annulaire G, mais surtout par le tube central G'. Le renouvellement de l'eau sur les ciels de foyer est assuré par la communication au moyen des tuyaux *g*, du tuyau G" avec la lame d'eau annulaire G qui entoure le fourneau. Il va sans dire que c'est dans cette lame d'eau que se fait l'alimentation.

Cette chaudière fonctionne à haute pression, et peut supporter facilement 8^{k} par *cm. c.* L'intérieur des tubes se nettoie facilement en pénétrant dans le coffre à vapeur. Le nettoyage des lames d'eau G et G" n'est pas aussi commode, malgré l'existence des trous de sel.

Chaudières à faces planes, avec tubes verticaux renfermant l'eau : type Martin. — Ce genre de chaudière est très-usité en Amérique ; chaque corps comporte généralement trois fourneaux à deux rangées de grilles, occupant seulement les deux tiers de la longueur du foyer. Le fond de la chaudière se redresse derrière l'autel pour former une chambre de combustion qui est prolongée par la boîte à feu. La tôle du fond de cette dernière se raccorde par des arrondis, à la partie inférieure de la chambre de combustion et à une plaque à tubes pour le dessus. Le ciel du foyer se raccorde également par un arrondi, à une deuxième plaque à tubes parallèle à la première, placée un peu au-dessus du foyer. Ces plaques à tubes ont les bords parallèles à la façade horizontale, et sont légèrement inclinées au montant de la boîte à feu vers la boîte à fumée. Sur ces deux plaques sont montés des tubes verticaux qui renferment l'eau. Le tout est consolidé par de nombreuses entretoises et de nombreux tirants.

Les gaz de la combustion passent du foyer dans la boîte à feu, puis viennent en retour en léchant les tubes verticaux. Le renouvellement de l'eau qui passe dans les tubes, se fait par les lames d'eau qui entourent les foyers et la plaque de tête inférieure. — Cette chaudière a une longueur totale double environ de celle de la grille ; grâce à cette disposition, on peut mettre en place 400 tubes par fourneau, ces tubes ayant à peu près le même diamètre que nos tubes ordinaires de chaudières, et étant d'ailleurs en laiton.

Le nettoyage extérieur des tubes peut se faire au moyen d'un jet de vapeur. Le nettoyage intérieur peut se faire au moyen de grattes, en pénétrant dans la chaudière, au-dessus de la plaque de tête supérieure. Cette chaudière présente un inconvénient, c'est que le remplacement des tubes, ou du moins d'un

grand nombre d'entre eux, est difficile à cause du peu de place qui existe entre le ciel du foyer et la plaque de tête inférieure.

Chaudière cylindrique verticale, à tubes verticaux renfermant l'eau : type de Caird. — Cette chaudière est formée par un gros cylindre vertical surmonté d'un dôme de vapeur. Elle comporte quatre foyers dont les grilles sont en quart de cercle, et qui sont entourés par une lame d'eau circulaire. Ces foyers forment voûte et laissent entre eux deux lames d'eau disposées en croix. Les produits de la combustion sont ramenés par los voûtes près de la circonférence, d'où ils s'élèvent dans quatre conduits annulaires très-courts pour lécher ensuite le faisceau tubulaire, et aboutir à la cheminée qui est placée au centre de la chaudière. Les plaques de tête sont parallèles et horizontales. Ces chaudières sont peu encombrantes, mais d'une construction difficile. Les tubes sont courts, et placés en carré pour ne pas trop diviser la flamme ; la surface de chauffe est faible, mais la température est très-élevée dans les courants de flamme. Le renouvellement de l'eau dans les tubes se fait par les lames d'eau qui séparent les foyers. La plaque à tubes du haut se visite par le coffre à vapeur ; celle du bas par la chambre à eau au-dessus des ciels de foyer ; on pénètre dans cette chambre par deux trous d'homme diamétralement opposés.

Chaudière cylindrique pour canot, avec tubes verticaux renfermant l'eau : système Davay-Paxman. — Cette chaudière est représentée par la *fig.* 5, *pl.* IX. Le corps F est cylindrique, avec cheminée centrale E. Le fourneau A, également cylindrique, laisse entre lui et la chaudière une lame d'eau annulaire G, et s'élève jusqu'aux deux tiers environ de la hauteur de la chaudière. La grille *c* est circulaire ; le fond du cendrier B est formée par une plaque de fonte T, qui sert d'assise à la chaudière et fait partie de la plaque de fondation de la machine.

Fig. 5, Pl. IX.

De la paroi verticale du fourneau, partent des tubes recourbés *d*, *d*, allant se fixer sur le ciel qui leur sert de plaque de tête. Ces tubes ont ceci de particulier, que leur diamètre au point de jonction avec l'enveloppe, est plus petit qu'au ciel du foyer. Cette disposition a pour but de rendre la circulation dans les tubes plus rapide. Les tampons coniques à nervures 1, 1, formés comme des clapets, s'emmanchent dans les extrémités supérieures des tubes ; ils sont seulement tenus par leurs nervures et laissent un passage suffisant pour le dégagement de la vapeur. Ces tampons ont pour but d'empêcher les entraînet ments d'eau.

La cheminée E, construite en tôle de même épaisseur que la chaudière, esfixée sur le ciel du foyer ; elle traverse la partie supérieure de la chambre à eau, ainsi que le coffre à vapeur. Les soupapes de sûreté S, chargées par des contre-poids, et le sifflet O sont placés directement sur la chaudière. La prise de vapeur se fait directement sur le sommet du coffre H, sans aucun appendice. L'évacuation du cylindre se fait dans l'axe de la cheminée par la tuyère *e*. Les écrans 2, 3, suspendus à l'extrémité d'une tringle que l'on manœuvre de l'extérieur au moyen du levier 4, obligent la flamme à lécher tous les tubes

avant de passer dans la cheminée. L'écran 3 étant suffisamment soulevé, **obture** presque complétement la cheminée et fait l'office d'un registre. — Enfin **la chaudière** se nettoie par une porte 5 placée sur le côté. Une porte semblable **donne** accès dans le coffre à vapeur.

Cette chaudière a une grille très-grande, et par suite la chaleur rayonnée est considérable. Le seul reproche que l'on pourrait lui adresser, c'est que son coffre à vapeur est un peu exigu.

N° 61_3 Types divers de chaudières à tubes horizontaux ou légèrement inclinés renfermant l'eau. — Les chaudières à tubes horizontaux renfermant l'eau sont généralement à flamme directe, et présentent cet avantage qu'une grande partie de la surface tubulaire est soumise au rayonnement direct du charbon incandescent. Par contre, elles ont généralement l'inconvénient d'une circulation d'eau défectueuse, ou du moins très-difficile. Les chaudières à tubes inclinés ont l'avantage et l'inconvénient ci-dessus moins caractérisé. — Voici les principaux types employés dans ces deux genres de chaudières.

Chaudières à flamme directe, à haute pression avec tubes bouilleurs horizontaux et tubes bouilleurs verticaux renfermant l'eau : type Dupuy de Lôme. — Cette chaudière est représentée par la *fig.* 13, *pl.* VIII. La légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée ; nous y ajouterons les renseignements suivants : Fig. 13, Pl. VIII.

Surface de grille par foyer	$1^{m.c}$,9295
— — totale	$3^{m.c}$,8590
Section totale de la cheminée	$0^{m.c}$,5020
Rapport de la section de la cheminée à la surface de grille.	0,1300
Surface de chauffe au-dessous du niveau moyen de l'eau. .	$76^{m.c}$,1200
— au-dessus — —	$28^{m.c}$,720
Volume d'eau par foyer (niveau moyen)	$2^{m.cub}$,000
— total	$4^{m.cub}$,000
Volume d'eau par mètre carré de grille	$1^{m.cub}$,038
Volume de vapeur par foyer (niveau moyen).	$1^{m.cub}$,509
— total	$3^{m.cub}$,018
Volume de vapeur par mètre carré de grille	$0^{m.cub}$,778
Pression effective maximum (par *cm. c.*)	5^{kg},50

Ce générateur est largement proportionné comme surface de chauffe, et la vaporisation y est très-active. La circulation de l'eau dans les tubes paraît être suffisamment assurée. Cependant l'étranglement des grands tubes inclinés F, à leur jonction sur les collecteurs inférieurs D et sur le coffre à vapeur H, doit rendre la circulation moins active dans ces tubes. Les collerettes de jonction sont d'ailleurs d'un travail très-difficile.

Chaudières à flamme directe, à tubes renfermant l'eau : système Barret et Lagrafel. — Ces chaudières sont représentées par

Fig. 14, Pl. VIII. la *fig.* 14, *pl.* VIII; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Elles sont employées sur un grand nombre de paquebots de la compagnie *Fraissinet* à Marseille.

Toutes les données qui les concernent se trouvent dans le tableau D de l'*Atlas*.

Les chaudières *Barret* et *Lagrafel* proprement dites, ne se composent que de trois éléments : un faisceau de tubes, deux boîtes à eau et un réservoir cylindrique. Le tout est renfermé dans une maçonnerie en briques réfractaires, avec enveloppe en tôle. — La grille est établie sous les tubes; la flamme s'élève directement, lèche les tubes ainsi que le réservoir de vapeur, et atteint la cheminée. La vapeur formée dans les tubes s'échappe, en suivant leur inclinaison, dans la boîte de devant et s'élève dans le réservoir supérieur, en produisant un courant d'eau rapide vers la boîte de derrière, par laquelle cette eau descend lentement, avec calme, pour alimenter les tubes. — Ces chaudières ont toujours bien fonctionné et il ne s'est jamais produit d'accidents ; les tubes ne s'usent pas plus vite que les tubes à fumée des chaudières tubulaires. Les chaudières *Barret* et *Lagrafel* réunissent les avantages suivants : grande résistance à la pression, elles sont timbrées à 7 kilogrammes ; absence de fuites parce que les dilatations se font très-également; pas d'ébulitions; construction, entretien et nettoyages faciles.

Ces chaudières brûlent en moyenne, 67 kilogrammes de charbon de Bessège, par mètre carré de surface de grille et par heure, et produisent $7^{kg},5$ de vapeur, mesurée à l'indicateur, par kilogramme de ce charbon brûlé.

Fig. 15, Pl. VIII. **Chaudières à flamme directe, à tubes légèrement inclinés renfermant l'eau, à bouilleurs et à foyers adossés : type de Watt de Birkenhead.** — Ce genre de chaudières est représenté par la *fig.* 15, *pl.* VIII ; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. — Les chaudières de *Watt* ressemblent aux chaudières *Barret* et *Lagrafel* que nous venons de décrire ; elles fonctionnent de la même manière, et n'en diffèrent, pour l'ensemble, que par la disposition et le nombre des réservoirs de vapeur et par le groupement des tubes qui sont ici en quinconce. D'autre part, les corps de chaudière sont adossés ; les foyers ont un autel commun, et les gaz des deux foyers adossés se réunissent dans un même courant de flamme, situé au-dessus de l'autel, après avoir léché les tubes.

Les quatre corps, d'une puissance nominale de 240^{ch}, ont $16^{m.c},60$ de surface de grille et $375^{m.c}$ de surface de chauffe. — Ces chaudières fonctionnent d'ailleurs très-bien, et peuvent supporter une pression élevée.

Chaudières à tubes horizontaux ou inclinés renfermant l'eau : types de Loftus Perkins, de Rowant et Horton, de Palmer et de Sergeant. — Dans le type *Perkins*, les tubes horizontaux ont 57^{mm} de diamètre intérieur et $9^{mm},5$ d'épaisseur ; ils sont fermés par des plaques de $12^{mm},5$ soudées sur chaque bout, et sont reliés entre eux par série verticale, à l'aide de petits tubes de 22^{mm} de diamètre intérieur et

de 5mm,5 d'épaisseur. La vapeur se déverse dans un collecteur dont les dimensions sont doubles de celles d'un tube. — Le foyer est formé par des tubes recourbés, rectangulaires, espacés de 43mm entre eux, et reliés par de nombreux petits tubes verticaux de 22mm de diamètre intérieur, et qui les font communiquer avec les tubes horizontaux. — Chaque corps de chaudière se compose d'un certain nombre de sections verticales comprenant chacune onze tubes horizontaux, communiquant par leurs extrémités, à l'aide de deux tubes verticaux, avec les tubes qui forment la partie supérieure du foyer et avec le tube collecteur de vapeur. Le tout est entouré d'une double enveloppe en tôle mince, garnie intérieurement de noir végétal pour éviter les pertes de chaleur. — Cette chaudière a été éprouvée à une pression de 333at qu'elle a supportée pendant quelques heures sans apparence de fatigue. Elle fonctionne sans projection d'eau et donne de la vapeur très-sèche. Mais elle a de grands défauts : sa construction et ses réparations sont extrêmement difficiles, et la circulation est si peu assurée que les brûlures des tubes doivent être fréquentes.

Dans le type *Rowant* et *Horton* essayé sur le *Propontis*, quatre corps de chaudières ont une cheminée commune. Chaque corps comporte sept bouilleurs horizontaux, réunis par des tubes en fer de 30cm et en plus, par de nombreux tuyaux de 6cm à 7cm de diamètre. — La chambre à vapeur est augmentée à la partie supérieure, par quatre dômes en diagonale. Pour prévenir les projections d'eau, des tuyaux descendent des dômes de vapeur aux bouilleurs inférieurs, afin que l'eau entraînée par la vapeur dans les dômes puisse retomber au fond de la chaudière. — L'eau d'alimentation est également distribuée dans les bouilleurs inférieurs. — Cette chaudière présente le grand défaut inhérent à l'emploi des tubes horizontaux, et de plus, l'absence de communication directe entre tous les réservoirs de vapeur. A la suite de plusieurs déchirures de tubes provenant de la mauvaise circulation de l'eau, ce type a été abandonné.

Dans le type *Palmer*, essayé sur le *Montana*, les tubes, légèrement inclinés, de 18cm de diamètre et de 4m de long, sont rivés aux extrémités, mais communiquent à chaque bout par des tubulures de 15cm. Chaque corps de chaudière comporte cinq rangées horizontales de 7 tubes chacune. Le tube supérieur de chaque rangée verticale communique avec un collecteur de vapeur placé au-dessus. — Il existe en outre trois réservoirs ou coffres à vapeur cylindriques par chaudière. — Un gros tuyau alimentaire, en fonte, parcourt toute la largeur de la chaudière, au-dessus de la rangée de tubes la plus basse, et chaque section verticale communique avec ce gros tuyaux par un tube de 62 millimètres. — Avec ce genre de chaudière, l'eau se distribue à sa guise, suivant que tel point ou tel autre est plus ou moins chauffé. La circulation de la vapeur et de l'eau se fait avec de grandes difficultés, aussi la chaudière n'a-t-elle pas tardé à être mise hors de service par suite de la déchirure de plusieurs tubes dépourvus d'eau.

Le type *Sergeant* est un système mixte ; il y a des tubes inclinés renfermant l'eau et des tubes à fumée verticaux. La chaudière est rectangulaire ; l'eau est contenue dans des tubes légèrement inclinés et fermés à leur extrémité infé-

rieure. L'autre extrémité débouche dans la chambre à eau, qui est formée par la partie inférieure du réservoir ménagé dans le haut de la chaudière et par des lames d'eau qui entourent le foyer. La plaque de tête sur laquelle se fixent les tubes est inclinée, et coupe ces tubes presqu'à angle droit. La chambre à eau et le réservoir de vapeur sont traversés par des tubes de fumée verticaux qui aboutissent à la cheminée. — Les tubes inclinés fonctionnent comme les tubes *Field*, mais ces tubes sont partagés en deux compartiments par une lame de tôle longitudinale; l'eau passe en dessus pour redescendre, et la vapeur en dessous pour remonter. — Ce genre de chaudière a été employé en Amérique, mais seulement pour les moyennes pressions. La circulation de l'eau dans les tubes exposés directement au feu ne paraît pas suffisamment assurée, parce que l'échappement de la vapeur doit gêner l'introduction de l'eau dans les tubes.

Chaudière à flamme directe, à tubes légèrement inclinés renfermant l'eau : système Émile Duclos. — Ce genre de chaudière rappelle le type *Belleville* (n° $61_{4 \text{ à } 8}$), dont il ne diffère essentiellement que par l'addition d'un réservoir d'eau et par la communication des extrémités de tous les tubes de la même rangée. Cette chaudière est représentée par la *fig.* 6, *pl* IX dont voici la légende :

Fig. 6, Pl. IX.

A,B foyers et cendriers.
a,*b* portes de foyer et portes de cendrier.
c barreaux de grilles sur deux rangées.
D courants de flamme autour des tubes.
D' boîtes de raccord des tubes. Les boîtes de l'arrière et celles de l'avant sont inclinées. Chacune de ces boîtes est fermée par une porte boulonnée. Les trous par lesquels passent le boulon sont échancrés afin qu'on ne soit pas obligé de dévisser complétement les écrous lors du démontage. Les boulons sont à T, et pivotent sur leur tête quand les écrous sont suffisamment desserrés. Toutes les boîtes d'un même bord sont fixées sur des montants en fer au moyen de boulons 2, *vue* 4°, et les montants de l'avant sont reliés à ceux de l'arrière par des tirants.
d tubes en fer, inclinés et rivés sur les boîtes D'. Les extrémités des tubes *d* sont légèrement infléchies pour s'implanter normalement dans les trous des boîtes de raccord D'. D'autre part les tubes des deux rangées consécutives sont alternés; les tubes de ces rangées sont inclinés en sens inverses, et le courant d'eau ou de vapeur est toujours ascensionnel. A chaque foyer correspond un faisceau tubulaire distinct.
E conduits de fumée aboutissant à la cheminée.
E' cheminée.
e portes de boîte à fumée formant écran, et donnant accès aux boîtes de raccord D'.
F enveloppe de la chaudière, formée d'une maçonnerie en briques réfractaires; cette enveloppe est montée sur une charpente en fer.
F' murette en briques séparant les foyers et s'élevant jusqu'aux faisceaux tubulaires.
f enveloppe des conduits de fumée, formée de doubles tôles emprisonnant des briques réfractaires. Cette enveloppe est en plusieurs parties démontables, pour permettre le nettoyage extérieur des tubes.
G réservoir d'eau d'alimentation pour chaque élément tubulaire. Ce réservoir communique par le tuyau 3 avec la boîte de raccord inférieure de l'arrière, et par le tuyau 4 avec la boîte supérieure du même bord. Le tuyau 4 est double, et le réservoir G fait en même temps l'office d'épurateur. La boîte supérieure de rac-

cord D′ de l'arrière, est partagée en deux compartiments horizontaux par une cloison. Le compartiment inférieur reçoit toute la vapeur formée dans le faisceau tubulaire; cette vapeur pénètre dans le réservoir G par un des tuyaux 4, et en ressort par l'autre pour aboutir au compartiment supérieur de la boîte D′, après s'être dépouillée de son eau. Cette vapeur passe ensuite par la rangée supérieure des tubes D, et se rend dans le conduit principal qui l'amène aux cylindres.

H petits réservoirs de vapeur en communication avec les boîtes de raccord supérieures de l'avant.

H′ coffre à vapeur dans le réservoir G.

I collecteur général d'alimentation et de vidange. Ce collecteur communique avec la mer par une prise d'eau 5.

i tuyau d'alimentation de chaque élément tubulaire. Ce tuyau aboutit à la base du réservoir G; il est muni d'un régulateur.

K soupapes de sûreté montées sur les réservoirs H.

k tuyau d'échappement des soupapes de sûreté.

P soupapes de prise de vapeur montées sur les réservoirs H, et au moyen desquelles chacun des éléments tubulaires peut être isolé.

Q appareils de tubes de niveau pour chaque élément tubulaire.

V tuyau de vapeur.

Au point de vue de la vaporisation, cette chaudière jouit de tous les avantages du générateur *Belleville*; elle a de plus, l'avantage d'un réservoir d'eau suffisant, et par suite plus de fixité dans le niveau et la pression. Tous les tubes d'un même élément communiquent par leurs boîtes de raccord; la vapeur formée passe par le réservoir G où elle se dépouille de son eau, avant d'aboutir au tuyau de vapeur; elle achève de se sécher en parcourant la rangée supérieure des tubes. L'eau d'alimentation passe dans le réservoir G où elle s'échauffe avant de pénétrer dans la boîte de raccord de l'arrière, et de là dans les tubes ; il en résulte que ces derniers ne sont pas exposés à des contractions violentes, et par suite se conservent mieux. — Cette chaudière est naturellement destinée à fonctionner à l'eau douce; le fonctionement à l'eau salée exigerait une disposition spéciale de l'épurateur pour ne pas extraire l'eau d'alimentation.

Chaudières à tubes légèrement inclinés renfermant l'eau, pour canot à vapeur : système Penelle. — Ce type de chaudière dont les plans ont été approuvés par le Ministre de la marine, est destinée aux canots de 8^m,85. Il est représenté par la *fig.* 36 dont voici la légende :

Vue 1° Élévation de face.
Vue 2° Élévation de côté.
Vue 3° Coupe suivant XX de la *vue* 1°
Vue 4° Coupe suivant YYY de la *vue* 3°.

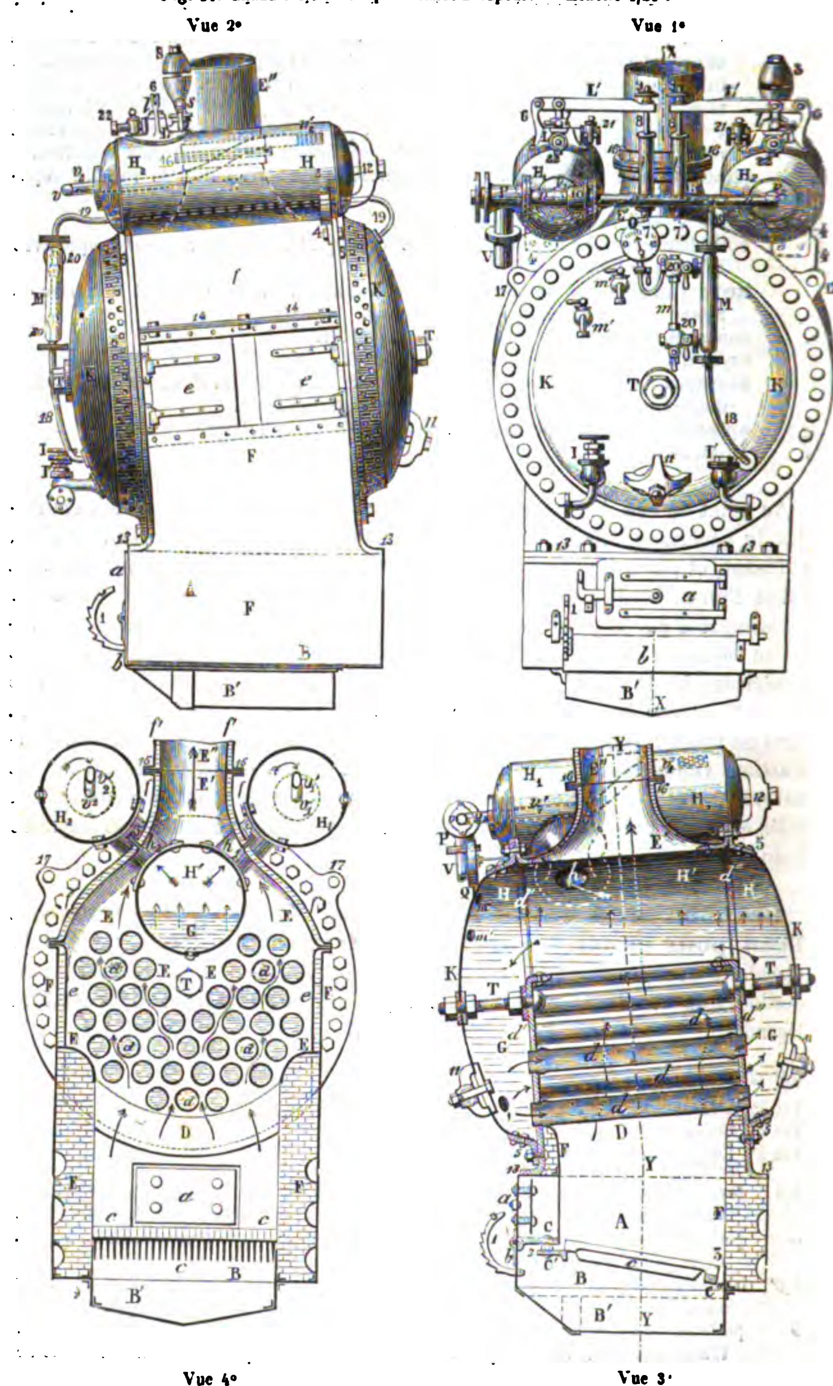
A,B foyer, placé directement au-dessous de la chaudière et enveloppé, sur les côtés et sur l'arrière, par une maçonnerie en briques réfractaires logée entre deux tôles.

a porte du foyer, munie comme d'habitude, de pentures avec gonds et d'un loquet. Cette porte n'a pas de trous pour introduire de l'air dans le foyer.

B,B′ cendrier. La partie inférieure B′ est une espèce de caisse destinée à recevoir les escarbilles, et qui se trouve en contre-bas de l'ouverture *b* du cendrier.

b porte de cendrier, montée sur deux gonds horizontaux et s'ouvrant de bas en haut. L'arc endenté 1, articulé par une de ses extrémités, passe dans une entaille de

Fig. 36. Chaudière Penelle pour canot à vapeur. — Echelle 1/20e.



la porte *b*, et maintient cette porte au degré d'ouverture que l'on désire. La porte du cendrier n'a pas de ventouses.

C,C' sole en fer, montée sur l'encadrement du fourneau. La partie C' qui supporte la grille est en contre-bas de la sole proprement dite ; elle est fixée au moyen de deux entretoises rivées et munies d'une douille. L'intervalle 2 laisse passer une veine d'air qui frappe la naissance de la grille et se répand ensuite sur le combustible. Cet intervalle remplace les trous qui sont d'habitude pratiqués sur la porte *a* du foyer.

c barreaux de grille en fer.

C'' sommier de grille en fer, fixé sur la tôle du fond, dont il est séparé par une lame d'air 3.

D chambre à feu au-dessus du fourneau, où se développe la flamme.

d tubes d'eau entourés par la flamme et les gaz provenant de la combustion. Ces tubes sont en fer; ils sont simplement renflés et épaulés.

d',*d''* plaques de tête des tubes, en acier doux. Ces plaques sont reliées aux enveloppes hémisphériques K,K, par deux forts tirants T,T, formant aussi entretoise.

E conduits de fumée entre les tubes et autour du cylindre H'.

e,*e* portes placés sur les côtés de la chaudière, pour permettre de nettoyer les conduits de fumée E.

E',E'' culotte de cheminée et cheminée.

F enveloppe du fourneau et des courants de flamme; cette enveloppe est formée d'une maçonnerie en briques réfractaires logée entre deux tôles.

f,*f* enveloppe du courant de flamme et de la culotte de la cheminée; elle est formée d'une épaisseur de corps mauvais conducteurs de la chaleur logés entre deux tôles.

f',*f'* enveloppe de la cheminée, construite comme *f*,*f*.

G chambre à eau, formée par l'intérieur des tubes, les deux capacités en avant et en arrière des plaques de tête et une partie du cylindre H'.

H,H' coffre à vapeur. Le cylindre H', en acier doux, est riveté sur les plaques de tête *d'*,*d''*, par l'intermédiaire de fortes pinces rabattues sur ces dernières. Ce cylindre met en communication les deux parties avant et arrière de la chaudière, et assure la circulation de l'eau dans les tubes.

H_1,H_2 réservoirs de vapeur, cylindriques en acier doux, placés un de chaque côté de la cheminée. Ils sont fixés au corps de la chaudière par les pattes 4, 4.

h_1,h_2 tubulures en fer, faisant communiquer les réservoirs H_1,H_2, avec le cylindre H'.

I régulateur d'alimentation par la machine.

I' clapet de refoulement du giffard alimentaire.

K,K calottes en acier doux, boulonnées sur les plaques de tête *d'*,*d''* par l'intermédiaire de fortes cornières 5,5, et constituant, avec les plaques de tête, la chambre à eau G et le coffre à vapeur H.

L,L boîtes des soupapes de sûreté, au nombre de deux, une sur chaque réservoir de vapeur H_1,H_2.

l,*l* soupapes de sûreté, montées sur les boîtes L,L.

L',L' leviers des soupapes de sûreté, articulés sur les montants 6,6, lesquels sont venus de fonte avec les boîtes L, L.

l',*l'* boîtes des ressorts chargeant les soupapes de sûreté; ces boîtes sont articulées en 7,7, sur les hauts des plaques de tête; l'articulation est portée par un bouchon taraudé qui ferme le fond de la boîte *l'*. Dans chaque boîte se trouve un piston sur lequel est montée la tige 8; cette dernière traverse le couvercle de la boîte, passe dans un œil ovalisé de l'extrémité du levier L', et se serre sur ce levier au moyen de l'écrou 9. Le piston qui est tiré par la tige 8, comprime contre le haut de la boîte, un ressort en spirale dont la tension équilibre la poussée de la vapeur sur la soupape. On augmente la tension des ressorts en vissant les écrous 9,9; une graduation faite sur les tiges 8,8 indique la charge correspondante de la soupape.

M cylindre servant de monture au tube de niveau. Le bas de ce cylindre communique avec le bas de la chambre à eau par le tuyau 18; le haut communique avec les deux bouts du coffre à vapeur par le double tuyautage 19, 19.

m tube de niveau, dont les armatures 20,20 sont montées sur le cylindre M.
m' robinets-jauges, montés directement sur la calotte K de l'avant.
P robinet de prise de vapeur pour la machine, communiquant avec les réservoirs cylindriques de vapeur H_1,H_2, par les tuyaux v_1,v_2.
Q manomètre indiquant la pression dans la chaudière.
S sifflet de signal, monté sur une tubulure venue de fonte avec la boîte L d'une des soupapes de sûreté.
T,T deux gros boulons formant entretoises entre les plaques de tête d',d'', et les calottes K. Ces boulons sont placés dans l'axe de la chaudière.
V tuyaux de vapeur de la machine, se raccordant avec le robinet de prise de vapeur P.
v tuyau collecteur de la vapeur des deux réservoirs H_1, H_2 ; sur ce tuyau se trouve un joint glissant 10.
v_1,v_2 tubulures de communication du tuyau *v* avec les réservoirs H_1, H_2.
v'_1,v'_2 appendices de prise de vapeur. Ces tuyaux pénètrent dans les réservoirs H_1,H_2, s'élèvent jusque vers la génératrice supérieure et sont percés en crépine pour éviter les entraînements d'eau.
XX, YYY } lignes de coupe
1 arc endenté, articulé à sa partie inférieure et servant d'arrêt à la porte du cendrier.
2 lame d'air entre la sole C et le sommier C' de la naissance de la grille.
3 lame d'air entre le sommier C'' et le fond du fourneau.
4,4 pattes d'attaches des réservoirs H_1, H_2, sur la chaudière.
5,5 fortes cornières par l'intermédiaire desquelles les calottes K,K, sont fixées sur les plaques de tête.
6,6 montants d'articulation des leviers L' des soupapes de sûreté.
7,7 articulation des boîtes à ressort *l',l'* des soupapes de sûreté.
8,8 tiges taraudées au moyen desquelles on comprime les ressorts des boîtes *l',l'*.
9,9 Ecrous pour serrer les tiges 8,8.
10 joint glissant sur le tuyau de vapeur *v*.
11,11 trous d'homme pour pénétrer dans les chambres à eau G, G, et les nettoyer.
12,12 trous d'homme pour pénétrer dans les réservoirs de vapeur H_1, H_2.
13,13 appuis de la chaudière sur la tôle d'encadrement du fourneau, et sur les tôles d'encadrement de la maçonnerie de l'arrière.
14,14 jonction des enveloppes F et *f*.
15,15 jonction des deux parties de l'enveloppe *f, f*, de la culotte de la cheminée. Cette jonction est nécessaire pour le montage, à cause des tubulures h_1, h_2.
16,16 jonction de la culotte de la cheminée avec la cheminée proprement dite.
17,17 oreilles ménagées sur les plaques de tête *d'* de l'avant, pour permettre de soulager les chaudières avec des palans ; sur les plaques de tête *d''* de l'arrière, les palans se frappent sur les pattes 4,4.
18 communication du cylindre-niveau M avec la chambre à eau.
19,19 tuyaux de communication du cylindre-niveau M avec les deux bouts de la chambre à vapeur H.
20,20 armatures du tube en cristal *m*, montées sur le cylindre-niveau M.
21,21, tubulures montées sur les boîtes L,L des soupapes de sûreté, et servant de dégagement à l'excès de vapeur. Ces tubulures sont munies de robinets, et prolongées par de petits tuyaux dont l'un monte le long de la cheminée et l'autre pénètre dans la cheminée pour activer le tirage si besoin est.
22,22 prises de vapeur du giffard alimentaire et du giffard de cale.

DONNÉES PRINCIPALES :

Pression effective par centimètre carré		$7^{kg},00$
Effort sur les calottes		30.919^{kg}
Nombre de boulons de 24^{mm} pour jonction de calottes		88
Section d'un boulon au fond du filet		$2^{cm.c},54$
Section totale		$111^{cm.c},76$
Effort moyen par millimètre carré de la section des boulons		$2^{kg},76$
Surface de grille		$0^{m.c},22$
Surface de chauffe	tubulaire	$4^{m.c},4924$
	du réservoir	$0^{m.c},2200$
	des plaques à tubes	$0^{m.c},3026$
	de surchauffe	$0^{m.c},2980$
	totale	$5^{m.c},3130$
Rapport de la surface de chauffe à la surface de grille		24,2
Volume d'eau		$177^{dm.cub}$
Volume de vapeur		$122^{dm.cub}$
Charge d'essai à froid, par *cm.c*		$13^{kg},00$

ÉCHANTILLONS DES MATÉRIAUX.

DÉSIGNATION.	NATURE du métal.	DIMENSIONS.
		millimètres.
Plaques à tubes	acier doux.	16
Réservoirs attenant aux plaques à tubes (enveloppes cylindriques)	—	8
Réservoirs extérieurs de vapeur	—	6
Fonds des réservoirs extérieurs de vapeur	—	7
Tubulures des réservoirs de vapeur	fer.	8
Calottes de la chaudière	acier doux.	8
Boulons-entretoises reliant les calottes aux plaques à tubes ; diamètre	—	36
88 boulons pour joints des calottes ; diamètre	—	24
40 tubes d'eau — diamètre intérieur	»	60
40 tubes d'eau	fer	»
40 tubes d'eau — diamètre extérieur	»	65
Collerettes pour les calottes	fer forgé.	»
Enveloppe de la maçonnerie	fer.	3
Tôle du fond et du cendrier	—	4
Cornières pour tôles enveloppant la maçonnerie	—	30/30
Dôme ou conduit de fumée	—	3
Cheminée et enveloppe	—	2
Porte et contre-porte du foyer	—	6
Porte du cendrier	—	3
Portes de boîte à fumée	—	3
Rivets en fer fort supérieur	—	»

NOTA. — Les tôles de la chaudière sont faites au four Martin.

RÉSISTANCE ET ALLONGEMENT

		RÉSISTANCE en kilog.	ALLONGEMENT p. 100.
Tôle de 8 millimètres et au-dessus	(minima)	42	15
— 6 — —	(minima)	45	20
Boulons	(minima)	39	20
	moyenne	42	24
	(maxima)	45	»

La chaudière qui nous occupe est très-bien conçue : la circulation de l'eau est largement assurée pour tous les tubes sans distinction. L'inclinaison des tubes, qui facilite cette circulation, doit être encore augmentée, la chaudière à bord, par la différence du tirant d'eau du canot à l'arrière et à l'avant. Le réservoir d'eau est suffisant pour éviter des variations considérables de pression ; d'un autre côté les réservoirs de vapeur ont un volume relativement considérable, sans exiger de grandes épaisseurs pour le métal de leurs enveloppes, grâce à leur nombre et à leur disposition. Il va de soi que les réservoirs H_1 et H_2, sont recouverts d'enveloppes isolantes. Enfin, au point de vue de la conduite, ce type de chaudière n'exige pas plus de précautions que la chaudière cylindrique *Claparède*, et elle a sur cette dernière, l'avantage d'une vaporisation beaucoup plus active.

Enfin, et ce n'est pas un mince avantage, la chaudière *Penelle* peut être nettoyée à fond en démontant les deux calottes K, opération des plus simples. Le seul défaut appréciable de ce générateur, consiste en ce que les parties extérieures des tubes d'eau sont difficilement accessibles, malgré l'existence des portes de côté *e*, *e*. Il serait bon que les canots fussent munis d'une lance à vapeur pour effectuer le nettoyage extérieur de ces tubes.

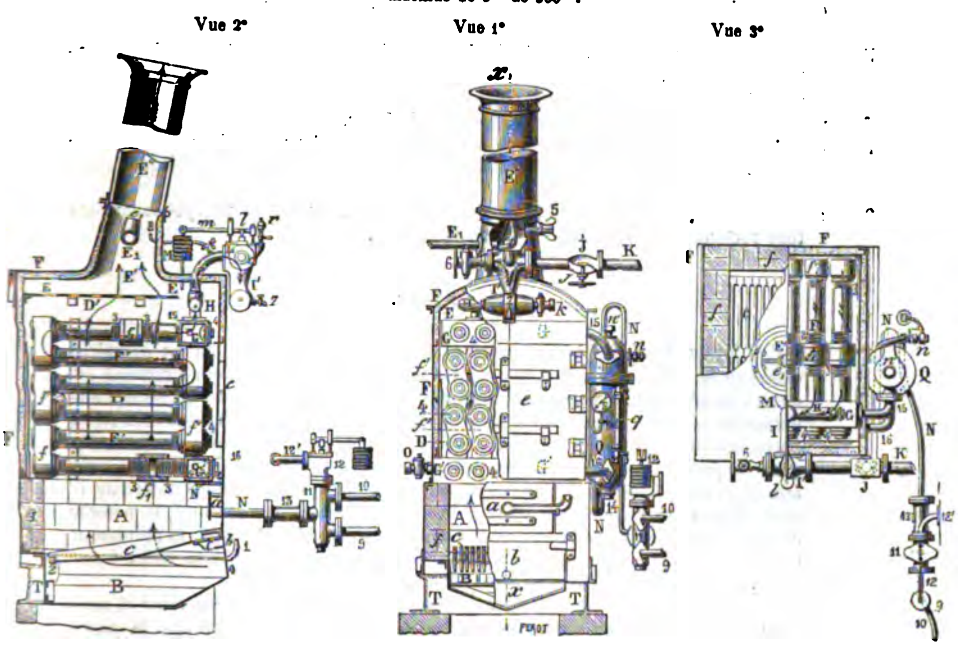
N° 61₄ Chaudière Belleville pour canot à vapeur. — Les chaudières du type *Belleville*, sont à tubes horizontaux ou légèrement inclinés et renfermant l'eau. La disposition des tubes a subi diverses modifications depuis l'invention du générateur. Nous avons donné au n° 156₇ *du Gd Traité*, une description du type aujourd'hui abandonné, avec tubes en partie verticaux et en partie horizontaux, ces derniers ayant la forme de serpentins. La disposition actuellement usitée ne comporte plus que des tubes horizontaux ou légèrement inclinés, formant un seul groupe pour les générateurs de canots, et pour chaque corps des appareils évaporatoires de navires.

Tout générateur de canot, ainsi du reste que tout corps d'un appareil évaporatoire de navire, se compose de trois parties distinctes : 1° *Le foyer et l'enveloppe ;* 2° *Le système tubulaire* ; 3° *Les organes accessoires.*

La *fig.* 37 représente une chaudière pour canot, sa description est donnée dans la légende suivante où on a employé, autant que possible, les lettres adoptées dans le *Traité des appareils à vapeur de navigation*, pour les différentes parties et organes des chaudières.

Vue 1° élévation de face de la chaudière avec déchirures dans la façade, et coupe verticale transversale dans l'enveloppe et le foyer.
Vue 2° coupe longitudinale suivant *xx* de la *vue* 1°.
Vue 3° plan avec déchirure dans la toiture, et mi-coupe horizontale à hauteur de grille.

Fig. 37. Chaudière Belleville pour canot à vapeur. — Échelle 1/30° pour chaudière alimentant une machine de 5ch de 300km.



FOYER ET ENVELOPPE.

A,B foyer et cendrier constituant le fourneau.

a porte de foyer, avec écran, et s'ouvrant horizontalement.

b porte de cendrier en tôle simple. Les charnières sont situées tantôt sur l'arête supérieure, tantôt sur l'arête inférieure. On donne à cette porte le degré d'ouverture que l'on veut à l'aide d'une crémaillère recourbée 1, qui passe dans une fente ménagée dans la porte même.

C sole, formée par une pièce de fonte reposant sur des galoches boulonnées contre les parois intérieures de l'enveloppe.

c barreaux de grille, sur une seule rangée, inclinés de l'avant à l'arrière. Ces barreaux sont appuyés sur la sole C et sur le sommier 2.

D intervalles entre les tubes constituant la boîte à feu. A sa sortie du foyer, la flamme s'élève dans les intervalles libres entre les tubes et entre ceux-ci et l'enveloppe; elle lèche les tubes avant d'atteindre la cheminée.

D' brise flamme; sorte de treillage placé dans les courants de flamme, au-dessus du faisceau tubulaire; il est formé de bandes de tôle reposant sur des cornières boulonnées contre les parois intérieures de l'enveloppe. Les sections des espaces libres de cette sorte de grillage, vont en augmentant depuis l'axe de la cheminée jusqu'à l'enveloppe. Sans cette installation, les gaz chauds de la combustion s'é-

lèveraient directement vers l'axe de la cheminée, et les tubes ne seraient pas chauffés sur toute leur longueur,

E boîte à fumée ; compartiment situé au-dessus du brise flamme et dans lequel pénètrent les gaz de la combustion avant d'atteindre la cheminée.

e porte de la boîte à tubes, formée de deux demi-portes à double tôle, et garnies d'escarbilles ; elles s'ouvrent horizontalement.

E′ culotte de la cheminée, formée de doubles tôles dont l'intervalle est garni d'escarbilles.

E″ cheminée à rabattement, formée également de doubles tôles, mais sans remplissage intérieur.

F enveloppe de la chaudière, formée de doubles tôles espacées, reliées par des entretoises et des cornières. L'intervalle compris entre les tôles est garni d'escarbilles pour éviter les déperditions de chaleur.

f maçonnerie en briques réfractaires entourant le foyer.

1 crémaillère recourbée, articulée à sa partie inférieure, et passant dans une fente de la porte de cendrier *b;* cette crémaillère sert à fixer cette porte à tel degré d'ouverture que l'on veut.

2 sommier des barreaux de grille. Derrière ce sommier se trouve une petite ouverture rectangulaire destinée à laisser passer l'air.

SYSTÈME TUBULAIRE.

F′ tubes en fer forgé, soudés à recouvrement sur mandrin. Ces tubes ont un diamètre extérieur de 82 millimètres et une épaisseur de 6 millimètres ; leur longueur est d'environ $0^{m},60$. Ces tubes sont disposés longitudinalement et en quinconce au-dessus de la grille. Ceux qui appartiennent à la même rangée verticale sont reliés entre eux alternativement sur l'avant et sur l'arrière, par des *boîtes de raccord f′* dans lesquelles ils sont vissés. Chaque rangée verticale de tubes prend le nom d'*élément* et chaque élément, disposé en serpentin, part du collecteur inférieur G′ pour aboutir au collecteur supérieur G. Pour les chaudières de canot, le nombre d'éléments est généralement de cinq et chaque élément est formé par la réunion de 6 tubes. Tous les éléments sont reliés entre eux, sur l'arrière, par un cadre formé de bandes de fer maintenues par des tirants.

Lorsque la chaudière est en fonction, l'eau remplit le collecteur inférieur et environ les trois tubes inférieurs de chaque élément ; la vapeur occupe la partie supérieure du faisceau tubulaire.

f′ boîtes de raccord en fonte malléable, sur lesquelles les tubes sont vissés, et qui établissent la communication entre ces tubes ; les joints sont rendus étanches au moyen des rondelles 3.

f_1 douilles ou manchons de raccord des tubes supérieur et inférieur de chaque élément, avec les bouts d'attente vissés sur les collecteurs G et G′. Cette disposition a pour but de permettre le démontage de l'un quelconque des éléments, sans toucher aux autres.

G collecteur supérieur ; tube de section quadrangulaire, fermé à ses deux extrémités, et où viennent aboutir les tubes supérieurs de tous les éléments.

G′ collecteur inférieur ; tube également fermé à ses deux extrémités, et de section quadrangulaire, dans lequel débouche le tuyau d'alimentation et où les tubes inférieurs de tous les éléments puisent leur eau.

H tube diviseur ; sorte de réservoir de vapeur en communication avec le collecteur supérieur G à l'aide de trois petites tubulures de sections différentes. La tubulure du milieu a la plus petite section. Le tube diviseur et les petites tubulures ont pour but de prévenir les dénivellements de l'eau dans les divers éléments, en répartissant autant que possible sur tous les points du générateur, l'effet de succion exercé par la prise de vapeur. — A l'une de ses extrémités, le tube diviseur est muni d'un trou de nettoyage fermé par un bouchon à vis.

I tuyau de communication du tube diviseur avec l'épurateur.

3 bagues vissées sur les tubes contre les boîtes de raccord *f′* et les manchons de

raccord f_1; elles sont destinées à assurer l'étanchéité des joints. Entre ces bagues et les raccords ou les manchons, et dans des rainures creusées à cet effet sur ces pièces, se loge du mastic au minium que les bagues compriment.

4 portes ou bouchons de visite des collecteurs G,G′ et des boîtes de raccord f'. Ces bouchons sont maintenus à l'aide de boulons dits à ancre.

ORGANES ACCESSOIRES

E_1 tuyau d'évacuation de la vapeur du cylindre.

e_1 appendice terminant le tuyau d'évacuation E_1 et produisant le tirage forcé. Cet appendice est pourvu d'une sorte de clapet à charnière que l'on manœuvre à l'aide d'un écrou à oreille 5 et dont le déplacement augmente ou diminue la section de l'orifice par où s'écoule la vapeur dans la cheminée; on peut, par suite, faire varier la vitesse d'écoulement de cette vapeur et conséquemment le tirage.

I′ épurateur, vase dans lequel débouche le tuyau I, pour que la vapeur se dépouille des particules liquides qu'elle a pu entraîner. Cet épurateur est décrit en détail au n° 61_5.

J boîte de la soupape d'arrêt.

j soupape d'arrêt servant de *registre* de vapeur, et se manœuvrant au moyen d'un volant.

K tuyau amenant la vapeur de la chaudière dans la boîte à tiroir.

k prise de vapeur pour l'injecteur d'alimentation.

L boîte de la soupape de sûreté, surmontant l'épurateur I′.

l soupape de sûreté située à la partie supérieure de l'épurateur, et ouvrant à l'air libre.

M contre-poids de la soupape de sûreté, placé à l'extrémité du levier *m*.

m levier du contre-poids M de la soupape de sûreté L.

N tuyau d'alimentation. Ce tuyau part de la boîte à crépine 13; il amène l'eau d'alimentation à l'automoteur alimentaire *n*, qui en règle l'écoulement; puis il vient déboucher dans le collecteur inférieur par un orifice situé sur l'arrière, et un peu en contre-bas de celui qui établit la communication de ce collecteur avec le cylindre-niveau Q.

n robinet automoteur ou *régulateur* d'alimentation. Ce robinet est représenté à grande échelle par la *fig.* 7, *pl.* VII; il est placé contre le chapeau du cylindre-niveau Q, et son tournant pénètre à l'intérieur de ce chapeau. Il porte deux leviers : l'un emmanché sur l'extrémité intérieure du tournant, l'autre sur l'extrémité extérieure. Le premier est attelé à un flotteur, cylindre creux en fonte de fer qui plonge en partie dans l'eau du cylindre-niveau; le second porte un contre-poids formé de rondelles de fer, qui est destiné à équilibrer le poids du flotteur diminué de celui du volume d'eau qu'il déplace. Ce dernier levier porte aussi un index qui marque sur un cadran gradué, le degré d'ouverture du robinet. — Le mouvement de montée ou de descente de l'eau dans le cylindre-niveau détermine un mouvement analogue du flotteur, et conséquemment l'ouverture ou la fermeture partielle ou totale du robinet *n*, suivant l'amplitude des oscillations du niveau de l'eau dans le cylindre Q.

n′ tubulure pour faire le plein, placée au sommet du cylindre-niveau Q. Le plein se fait en versant l'eau, à l'aide d'un seau, dans un entonnoir que l'on emmanche dans le trou de cette tubulure. Pour l'appareil de navire, le plein se fait à l'aide d'une pompe refoulant par la tubulure *n′*. Lorsque le plein est fait, on ferme le trou de la tubulure à l'aide d'un bouchon à vis, ou bien d'un robinet si la tubulure en possède un.

O robinet de vidange; dans certains appareils, le robinet O sert à régler l'alimentation auxiliaire par l'injecteur giffard.

Q cylindre-niveau; récipient de section circulaire ou quadrangulaire, placé sur le côté de la chaudière et communiquant avec le collecteur supérieur par le tuyau 15, et avec le collecteur inférieur par le tuyau 16.

q tube indicateur du niveau de l'eau dans le cylindre-niveau et conséquemment dans l'appareil tubulaire. En marche, le niveau accusé dans le tube est toujours plus

élevé de six à huit centimètres environ, que celui de l'eau dans l'appareil tubulaire. Cette différence provient du refroidissement qu'éprouve la vapeur dans le tuyau 15, et de l'entraînement de l'eau des tubes du générateur par la vapeur naissante.

r sifflet de signal, monté sur l'épurateur I', près de la soupape de sûreté.

S manomètre métallique indiquant la pression de la vapeur.

T carlingues en fer constituant le plan de pose des chaudières.

5 écrou à oreille servant à manœuvrer le petit clapet à charnière qui règle l'échappement de la vapeur du cylindre par la tuyère e_1.

6 robinet de décharge et tuyau par lequel la vapeur se rend dans le siphon à vapeur ou giffard de cale. C'est aussi par ce tuyau qu'on évacue habituellement l'excès de la vapeur produite dans la chaudière.

7 robinet de purge de l'épurateur ; lorsqu'on est obligé de marcher accidentellement à l'eau salée, ce robinet reste ouvert et sert de robinet d'extraction. Dans ce cas, on tient le niveau très-élevé pour déterminer des entraînements d'eau dans l'épurateur. Un petit tuyau que l'on raccorde sur le robinet 7, rejette l'eau à la mer.

8 robinet et tuyau d'échappement permettant d'envoyer directement la vapeur de la chaudière dans la cheminée, pour activer le tirage quand la machine ne fonctionne pas.

9 tuyau de refoulement de la pompe alimentaire.

10 tuyau de refoulement de l'injecteur alimentaire.

11 réservoir en communication avec une caisse à eau douce placée en abord et contenant la provision d'eau d'alimentation. Le réservoir 11 est muni d'une soupape de trop-plein qui permet à l'eau envoyée par les tuyaux 9 et 10, de retourner dans la caisse à eau douce quand le robinet automoteur *n* ne peut pas débiter toute l'eau refoulée.

12 système de leviers et de contre-poids pour charger convenablement la soupape de trop-plein et la maintenir sur son siège tant que le robinet *n* est suffisamment ouvert.

12' tuyau de communication de la soupape de trop-plein avec le réservoir d'alimentation.

13 boîte à crépine dans laquelle passe l'eau d'alimentation en sortant du réservoir 11. La crépine a pour but de débarrasser cette eau des impuretés qu'elle est susceptible d'entraîner et qui pourraient engager le robinet automoteur d'alimentation *n*.

14 robinet ou bouchon de vidange du cylindre-niveau Q.

15 tuyau de communication du cylindre-niveau Q avec le collecteur supérieur G.

16 tuyau de communication du cylindre-niveau Q avec le collecteur inférieur G'.

Fig. 5, Pl. VII.

N° 61_5 Appareil évaporatoire Belleville pour navire. — Tout appareil évaporatoire Belleville pour navire se compose de plusieurs corps comprenant chacun un groupe de tubes formant un générateur distinct, dans le genre d'une chaudière de canot. On voit en *fig.* 5, *pl.* VII, un appareil évaporatoire pour navire comprenant 12 corps de chaudière.

Pour le légendement de cet appareil, on a adopté les mêmes lettres que sur la chaudière de canot, *fig.* 37 du texte, aux compartiments, pièces et organes de même nom et de même fonction. Il suffira donc de se reporter à la légende de cette figure, sauf pour les parties suivantes, qui n'ont pas leurs correspondantes dans le générateur de canot, ou qui possèdent ici un agencement ou un usage tout à fait différent de celui qu'elles ont dans ce générateur.

g boulons à champignons reliant la maçonnerie à l'enveloppe.

m_1 tuyaux d'échappement à travers lesquels s'écoule la vapeur qui sort par les soupapes de sûreté. Les tuyaux d'échappement des corps de l'avant aboutissent à un

tuyau commun qui remonte le long de la cheminée. Il en est de même pour les chaudières de l'arrière.

n' robinet gradué à soupape, placé sur le tuyau de refoulement de la pompe d'alimentation à l'automoteur alimentaire. Ce robinet sert, concurremment avec l'automoteur, à régler l'alimentation.

u petites portes fermant les trous de la toiture par lesquels on a introduit les escarbilles entre les deux tôles de l'enveloppe et de cette toiture.

Au lieu du système tubulaire représenté en *fig.* 5, *pl.* VII. M. *Belleville* a adopté en 1872 un nouveau modèle qui a été appliqué à tout un côté de l'appareil évaporatoire de l'*Hirondelle*.

Le nouveau système tubulaire est formé d'éléments doubles. Cette disposition est obtenue en plaçant les boîtes de raccord horizontalement et en inclinant un peu les tubes d'une même boîte en sens contraires l'un de l'autre. Ces tubes sont vissés comme d'habitude dans deux boîtes de raccord semblables à la première, mais superposées. L'inclinaison des tubes est de 8 centimètres par mètre pour le tube inférieur de chaque élément, et de 4 centimètres par mètre pour tous les autres.

Il résulte de ces diverses modifications un meilleur dégagement de la vapeur, et, de plus, une vidange complète des tubes lorsque l'appareil ne fonctionne pas, ce qui ne peut être obtenu avec l'ancienne disposition.

Mais par contre, la surface de chauffe est plus petite, bien que le diamètre des nouveaux tubes soit un peu plus grand que celui des anciens; car chaque corps de chaudière du nouveau système ne possède que 108 tubes, au lieu de 156 que contenaient les anciens corps. On n'a d'ailleurs rien changé à l'agencement des tubes entre eux et avec les collecteurs.

Description détaillée de l'épurateur dans les chaudières Belleville. — Les organes que l'on rencontre dans les autres chaudières se retrouvent dans les appareils *Belleville;* mais il y a en plus, dans ces derniers appareils, un épurateur et un système d'alimentation présentant des dispositions spéciales.

L'épurateur a pour but de dépouiller la vapeur de l'eau qu'elle a pu entraîner en sortant du générateur. On évite ainsi les projections d'eau dans les cylindres, et le mauvais fonctionnement qui résulte de l'emploi d'une vapeur humide. Cet organe est représenté à grande échelle par la *fig.* 6, *pl.* VII; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Fig. 6, Pl. VII.

En général, il n'y a qu'un épurateur par appareil évaporatoire. Cet organe se trouve placé sur le trajet du tuyau de vapeur. Dans l'appareil évaporatoire complet représenté en *fig.* 5, *pl.* VII, l'épurateur est placé dans le plan diamétral du bâtiment, entre les chaudières et la machine; il repose sur un socle formé par une forte cornière circulaire, en fer.

Depuis 1872, M. *Belleville* a apporté à l'épurateur les modifications suivantes: la cloison intérieure n'existe plus, la vapeur pénètre dans l'épurateur par un tuyau recourbé horizontalement, sur une demi-circonférence, et légèrement incliné de haut en bas. Il en résulte que les parties solides ou liquides entraînées par la vapeur, sont projetées tangentiellement avec la vitesse

acquise, contre la paroi intérieure de l'épurateur, le long de laquelle elles continuent leur mouvement hélicoïdal sous un angle d'environ 30 degrés. Par l'effet de leur pesanteur et de la direction descendante qui leur est imprimée par le tube en spirale, elles se réunissent à la base de l'épurateur. La vapeur, en vertu de sa faible densité et de son élasticité, se trouve ainsi séparée des particules liquides et solides qu'elle avait entraînées, et sort par un tuyau placé au sommet de l'épurateur. — Cet appareil fonctionne bien, même quand la vapeur est fortement chargée d'eau.

Description détaillée du cylindre-niveau et de l'automoteur d'alimentation. — Chaque corps de chaudière est muni d'un appa-
Fig. 7, reil de niveau monté sur un organe qui règle automatiquement l'alimentation.
Pl. VII. Cet organe est représenté à grande échelle par la *fig.* 7 *pl.* VII ; la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée.

L'alimentation est sans contredit la partie délicate des chaudières Belleville. En effet, si le niveau de l'eau ne se maintient pas à très-peu près à la même hauteur pendant le fonctionnement de l'appareil, on risque d'avoir des entraînements d'eau, si le niveau s'élève trop haut; ou de rougir les tubes, s'il tombe trop bas. Or, pour maintenir le niveau à peu près constant, il faudrait envoyer à chaque instant dans l'appareil tubulaire, quelle que soit l'allure de la machine, une quantité d'eau *strictement égale* à celle qui est vaporisée dans le même temps.

Pour les chaudières fixes, cette difficulté a été pleinement résolue par M. *Belleville*, à l'aide de la soupape de trop-plein et du robinet automoteur d'alimentation. Mais sur les bâtiments, l'emploi du robinet automoteur d'alimentation ne donne pas toujours des résultats aussi satisfaisants que ceux que l'on obtient à terre.

Pour se rendre compte de la manière dont s'opèrent l'alimentation et la circulation de l'eau dans le système tubulaire, en emploie parfois des chevilles fusibles. Ces chevilles, que l'on incruste dans les boîtes de raccord des deux ou trois rangées inférieures de l'avant, ne fondent que lorsque les boîtes manquent d'eau. Les indications fournies par ces chevilles n'ont de valeur qu'autant que les tubes sont engorgés; car avec des tubes propres, les indications du tube de niveau d'eau sont suffisantes. Les chevilles fusibles ne sont habituellement employées que dans les essais.

Pour assurer l'alimentation à bord comme à terre, M. *Belleville* a proposé récemment un autre dispositif qui a pour but de régler la vitesse d'introduction de l'eau d'alimentation dans la chaudière et de maintenir cette vitesse constante; on remédie ainsi aux irrégularités de la distribution de l'eau dans les divers éléments tubulaires, qui résultaient des variations de la pression de la vapeur ou de la poussée des pompes alimentaires. Cette nouvelle disposition est représentée par la *fig.* 7 *bis*, *pl.* VII; elle est décrite dans la légende de cette planche.

Fig. 7 *bis*, La soupape de trop-plein est chargée par le contre-poids *t*, mais peut rece-
Pl. VII. voir un accroissement de charge du ressort R, en agissant sur la vis qui termine l'extrémité de sa tige et qui appuie sur le levier *t'*. Quand la pompe alimentaire fonctionne et que l'eau pénètre dans le régulateur, cette eau exerce sur le

ressort R une pression qui tend à le fermer, et les lentilles inférieures s'élèvent. L'élasticité du métal et la pression de la vapeur dans l'intérieur du ressort résistent à cette pression. Lorsque l'excès de la poussée de l'eau d'alimentation sur la résistance du ressort atteint une certaine valeur, la soupape de trop-plein se soulève, et la vitesse d'introduction de l'eau dans la chaudière n'augmente plus.

S'il se produit des variations de pression à la chaudière, le ressort R sera plus ou moins résistant; mais le clapet de trop-plein ne se soulèvera que lorsque l'excès de la poussée de l'eau sur la charge du clapet aura atteint la valeur constante assignée. L'eau sera par suite toujours introduite avec la même vitesse, ou du moins avec de faibles variations de vitesse.

N° 61₆ Derniers perfectionnements apportés aux appareils Belleville pour navire. — Le modèle 1872, quoique bien supérieur aux précédents, a néanmoins décelé dans la pratique qu'il comportait encore certains inconvénients, qui peuvent être résumés comme suit :

1° Difficulté du libre dégagement de la vapeur des tubes contenant l'eau, et situés à la partie inférieure de chaque élément. Il en résulte que lorsque l'allure des feux devient tout à coup très-active, la vapeur formée en grande quantité dans les tubes inférieurs, repousse la colonne liquide au lieu de la traverser, l'entraîne dans le collecteur supérieur, et de là dans l'épurateur. La chaudière est presque vidée, et les tubes sont exposés à des coups de feu. Lorsqu'une nouvelle quantité d'eau envoyée par la pompe alimentaire vient en contact avec ces tubes ainsi surchauffés, il se produit des contractions violentes qui occasionnent souvent des fuites. — Ce même fait se produit lorsqu'on pousse les feux très-activement, la machine dépensant une plus grande quantité de vapeur, si le niveau est élevé. Pour éviter ces entraînements d'eau, il faut tenir le niveau bas, et la vapeur est alors trop surchauffée.

2° L'alimentation directe dans le collecteur inférieur occasionne des irrégularités dans le travail des divers éléments, parce que les éléments les plus voisins du débouché de l'alimentation reçoivent de l'eau notablement plus froide que les autres; ils produisent par suite une moins grande quantité de vapeur; d'autre part, les tubes directement exposés au feu sont soumis à des alternatives de dilatation et de contraction très-nuisibles, résultant des variations de la température de l'eau d'alimentation.

3° L'obligation de tenir un niveau relativement bas, lorsque les feux sont activement poussés, supprime tout entraînement d'eau dans l'épurateur, et les matières calcaires ou graisseuses que renferme l'eau d'alimentation se déposent sur les tubes.

Pour obvier à ces divers inconvénients, M. *Belleville* a adopté, en 1876, un nouveau modèle de chaudières marines qui réalise les perfectionnements suivants :

1. *Application des boîtes de raccordement jumelles et à circulation, aux éléments doubles générateurs pour obtenir le libre dégagement de la vapeur et sa séparation de l'eau.* — Les boîtes jumelles mettent en communication par leurs deux extrémités, les fourches qui contiennent l'eau dans chaque élément; elles sont divi-

sées en deux compartiments par une cloison verticale; ces compartiments communiquent ensemble haut et bas. La vapeur qui se dégage de chacune des fourches vient, en raison de l'inclinaison naturelle que possède chacun des tubes d'un élément double, s'écouler dans le compartiment de droite, lors de son passage au-dessus de la cloison; cette vapeur, par son changement de direction qui de verticale devient horizontale, projette dans ce compartiment de droite la majeure partie de l'eau dont elle est chargée en excès. C'est alors que, très-saturée et mêlée de vésicules d'eau, la vapeur sort de la boîte jumelle par le tube supérieur du compartiment de droite, pour circuler rapidement dans les tubes supérieurs de l'élément. Les vésicules d'eau se vaporisent au contact de ces tubes, puis la vapeur se rend à l'épurateur dans un état plus ou moins humide, suivant la hauteur moins ou plus grande du niveau de l'eau dans la chaudière.

Chaque boîte jumelle à circulation est raccordée par sa partie inférieure avec le collecteur inférieur, de telle sorte que l'eau s'écoule librement du compartiment de droite de chaque boîte jumelle dans le collecteur, pour venir circuler dans la fourche inférieure de chaque élément, où la vaporisation est considérable par le fait de son exposition directe à l'action la plus intense du feu. — On réalise ainsi une circulation dont l'activité est proportionnelle à l'activité du feu et à la quantité de chaleur absorbée par les surfaces de chacune des fourches qui contiennent de l'eau. Par le fait de cette active circulation, très-rationnelle, puisque l'eau pénètre dans la fourche par le côté opposé à celui où sort la vapeur, les tubes exposés au coup de feu se trouvent complètement à l'abri des brûlures.

En résumé, l'application de boîtes jumelles de circulation procure les importants avantages suivants :

1° Libre dégagement de la vapeur de chacune des fourches contenant l'eau, et retour assuré de la plus grande partie de l'eau entraînée par cette vapeur.

2° Possibilité de maintenir normalement le niveau de l'eau plus élevé dans le générateur, et par suite de toujours pouvoir former de la vapeur saturée, ce qui est indispensable avec les pressions élevées, à cause du graissage des machines.

3° Circulation libre de l'eau, et retour dans les tubes inférieurs de l'eau déjà chauffée, d'où suppression des variations considérables de dilatation et meilleure utilisation de la surface de chauffe.

II. *Application d'un épurateur de vapeur qui sert en même temps de réchauffeur d'eau d'alimentation, avec retour d'eau au générateur.* — Cet épurateur est formé d'un cylindre horizontal divisé en deux compartiments superposés, par une cloison régnant sur les trois quarts environ de sa longueur, à partir de la tête. La vapeur venant du générateur pénètre dans le compartiment inférieur du cylindre par une tubulure, et s'épanouit sous la cloison, en projetant vers l'extrémité opposée du cylindre les vésicules d'eau et les particules calcaires qu'elle peut avoir entraînées. L'eau d'alimentation pénètre dans le cylindre par une tubulure située sur le côté, à l'arrière, près du fond. L'échauffement instantané de l'eau qui se trouve ainsi mise en contact avec la vapeur, a pour

effet de précipiter à l'état pulvérulent la totalité des carbonates de chaux et **aussi** la majeure partie du sulfate de chaux. — L'eau d'alimentation ayant ainsi **atteint**, à cinq ou six degrés près, la température de la vapeur, s'écoule pour **faire** retour au collecteur inférieur du générateur, en passant par la tubulure **de** retour d'eau située au-dessous de la cloison, à l'avant de l'épurateur, et **par** le déjecteur où les boues calcaires se précipitent. — Les deux extrémités **du** cylindre-épurateur sont munies de bouchons autoclaves pour le nettoyage **intérieur**.

L'épurateur de vapeur et réchauffeur d'eau d'alimentation, avec retour d'eau **au** générateur, réalise les avantages suivants :

1° Épuration de la vapeur.

2° Précipitation des dépôts calcaires contenus dans l'eau d'alimentation.

3° Retour au générateur de l'eau qui pourrait être entraînée par la vapeur lorsque le niveau est momentanément trop élevé.

4° Préservation des coups de feu ou avaries diverses résultant de l'accumulation des croûtes calcaires sur les surfaces les plus exposées au feu.

5° Travail égal des divers éléments composant un générateur, parce qu'ils reçoivent tous de l'eau à la même température élevée.

6° Suppression pour les tubes les plus rapprochés du feu, des effets nuisibles des dilatations et des contractions qui résultaient des intermittences d'alimentation à des températures plus ou moins différentes de celles de la vapeur.

7° Possibilité d'employer avec succès des anticalcaires destinés à précipiter les dernières parcelles de sulfate de chaux, l'action de ces ingrédients devenant aussi complète que possible eu égard à l'absence des entraînements d'eau au dehors.

Grille Belleville à circulation d'eau. — Les grilles ordinaires ont l'inconvénient d'atteindre, après quelques heures de chauffe, une température assez élevée pour permettre aux mâchefers de se coller, et d'obstruer ainsi, dans une proportion plus ou moins grande, le passage de l'air nécessaire à la combustion. M. *Belleville* a imaginé un système de grille qui permet d'éviter cet inconvénient. — Le foyer comporte :

1° Une grille tubulaire montée sur un châssis incliné composé de plaques en tôles et cornières. A ce châssis se rattachent haut et bas, les tubes collecteurs des tubes-grilles ; ces collecteurs sont munis, en regard de chaque tube-grille, de bouchons de nettoyage dont le diamètre extérieur est de 50 millimètres. Le collecteur inférieur porte deux tubulures, l'une qui communique avec le tuyau d'alimentation venant des pompes alimentaires, et l'autre par laquelle s'opère la vidange de la grille du générateur. Le collecteur supérieur porte aussi une tubulure à chacune de ses extrémités, toutes deux se raccordant avec les extrémités du collecteur inférieur du générateur.—Aux tubes collecteurs viennent se rattacher les tubes-grilles qui, à leur extrémité inférieure, sont cintrés de la valeur d'une demi-circonférence pour la liberté de leur dilatation ; ils sont suffisamment écartés les uns des autres pour qu'un barreau en fer méplat puisse être placé entre chacun d'eux, afin d'agmenter le nombre des vides destinés au passage de l'air. L'ensemble de la grille tubulaire est incliné d'environ 13 degrés.

2° Une petite grille, composée de barreaux ordinaires qui sont cintrés suivant un quart de cercle, est disposée à l'extrémité et en contre-bas de la grande pour recevoir les résidus de la combustion. Il existe entre cette petite grille et le collecteur inférieur de la grande, un écartement dans le sens vertical suffisant pour l'extraction des scories.

3° Un cendrier en tôle, sur lequel est disposé une barre d'appui transversale pour un crochet spécial, à l'aide duquel on opère l'extraction des scories accumulées sur la petite grille.

L'eau froide d'alimentation arrive dans le collecteur inférieur de la grande grille, circule en s'élevant dans les tubes inclinés pour se rendre dans le collecteur supérieur de la grille et de là dans le collecteur inférieur du générateur. — Les tubes-grilles sont toujours ainsi remplis d'eau à faible température ; il en résulte que les mâchefers, à mesure qu'ils se déposent, sont refroidis par ce contact et ne peuvent se souder ni entre eux ni à la grille.

L'allumage des feux se fait simultanément par les deux extrémités du foyer, c'est-à-dire par la petite grille et en tête de la grande. Pour la charge du fourneau en marche, on emploie d'abord un outil spécial à dents, au moyen duquel on racle de l'avant à l'arrière la partie supérieure de la grille tubulaire, ce qui fait tomber tous les mâchefers sur la grille du fond. En ramenant l'outil légèrement soulevé, on égalise le combustible qui a été repoussé dans le fond, puis on place le combustible frais sur l'avant de la grille tubulaire. Ce mode de chargement du fourneau est très-avantageux, tant au point de vue des facilités du travail qu'au point de vue de la bonne utilisation du combustible. — Le décrassage s'opère seulement sur la petite grille du fond, et par suite le fourneau n'est paralysé, pendant cette opération, que dans une mesure très-restreinte. — Le système de grille qui nous occupe constitue certainement un progrès remarquable.

N° 61, Fonctionnement des chaudières Belleville. — Le principe sur lequel sont fondées les chaudières *Belleville* est le suivant : *faire arriver sur des surfaces très-chaudes, de l'eau qui se vaporise rapidement et se renouvelle de même.*

Dans ces chaudières, l'eau refoulée par la pompe alimentaire pénètre dans le collecteur inférieur, d'où elle s'élève dans chaque élément. Les tubes étant entourés de gaz chauds sont à une température très-élevée ; conséquemment à mesure que l'eau s'élève, elle s'échauffe, et son mouvement ascensionnel continuant, elle ne tarde pas à se transformer en vapeur. Cette vapeur se rend d'abord dans le tube diviseur qui régularise en quelque sorte sa pression, puis dans l'épurateur où elle se débarrasse des particules aqueuses qu'elle est susceptible d'entraîner. Enfin de l'épurateur, la vapeur se rend dans les boites à tiroirs de la machine.

Au repos sans pression, le niveau est parfaitement net dans les tubes, et se trouve d'ailleurs à la hauteur indiquée par le tube-jauge. Mais dès la mise en marche, l'eau n'a plus de niveau dans les tubes. La vapeur formée dans les tubes inférieurs entraîne en s'élevant, une quantité d'eau d'autant plus grande que la formation de la vapeur est plus rapide ; le niveau est détruit,

et les tubes qui avoisinaient ce niveau, au-dessus et au-dessous, renferment un mélange de vapeur et d'eau d'autant moins dense que le tube que l'on considère est plus élevé. — La circulation de l'eau ainsi divisée est éminemment favorable à l'absorption rapide du calorique, et, en général, il n'y a pas à craindre que les tubes soient brûlés.

Les proportions de la chaudière sont combinées de telle sorte que l'eau qui circule dans l'intérieur des tubes, se trouve complétement transformée en vapeur après en avoir parcouru seulement une partie. De la sorte, les tubes inférieurs contiennent toujours de l'eau, et les tubes supérieurs de la vapeur.

Ici, il n'existe point de grands réservoirs d'eau comme dans les chaudières ordinaires; mais, par contre, la *continuité* de l'alimentation est d'une nécessité absolue. Sous ce rapport, les anciennes chaudières étaient défectueuses; les nouvelles au contraire, celles à éléments doubles et à tubes inclinés, avec adjonction du régulateur d'alimentation à pression constance, paraissent très-bien agencées. Dans les derniers essais faits sur l'*Hirondelle*, l'alimentation des nouvelles chaudières n'a jamais manqué; le niveau est resté à peu près régulier, oscillant seulement de quelques centimètres. Les robinets gradués à soupape, à l'aide desquels on règle l'alimentation de chaque corps de chaudière du nouveau système, n'exigent pas une manœuvre constante. Cette manœuvre ne se fait qu'aux changements d'allure de la machine. Pour une allure donnée, le robinet gradué dans chaque corps est ouvert d'une même quantité, indiquée du reste par la graduation correspondante à l'allure adoptée. Si à un moment donné le nombre de tours de la machine augmente légèrement, la vapeur se surchauffe davantage, et pour un même poids produit plus de puissance; si au contraire le nombre de tours diminue un peu, le niveau s'élève dans l'appareil tubulaire, et la vapeur produite est plus humide. Mais comme l'eau entraînée par la vapeur se dépose dans l'épurateur, la perte de chaleur n'est pas considérable si la purge de ce récipient aboutit dans la bâche. Il est facile de comprendre qu'une même ouverture des robinets gradués ne saurait convenir à toutes les vitesses, et que lorsque les écarts dans l'allure dépassent une certaine limite, il faut rectifier l'ouverture de ces robinets.

Lorque plusieurs corps de chaudières fournissent de la vapeur au même appareil moteur, l'alimentation ne se fait pas toujours très-régulièrement dans toutes les chaudières à la fois. On peut corriger les écarts qui se produisent par une manœuvre intelligente des portes de cendriers. Si par exemple le niveau baisse à une chaudière, c'est qu'elle fournit plus de vapeur que les autres ; en fermant un peu la porte du cendrier, on diminue l'activité de la combustion et par suite celle de la vaporisation, et le niveau se rétablit sans qu'il soit besoin de toucher au contre-poids du flotteur du régulateur d'alimentation ou au robinet régulateur. Si, par contre, le niveau est trop élevé, on augmente la vaporisation en ouvrant davantage la porte du cendrier, et le niveau baisse sans qu'il soit besoin de toucher aux organes d'alimentation. La manœuvre que nous indiquons ne peut naturellement être pratiquée qu'autant que les chaudières en fonction sont très-puissantes, eu égard à la quantité de vapeur à fournir à l'appareil moteur.

Dans ce genre de chaudières, comme dans tous les types à eau dans les tubes, il y a des variations sensibles de pression à chaque charge de fourneau. Cela tient à ce que la surface de chauffe, étant en grande partie directe, reçoit principalement la chaleur par rayonnement; or ce rayonnement est notablement diminué lorsqu'on a mis du charbon frais par-dessus le charbon incandescent qui recouvrait la grille. De là un abaissement momentané de pression, qu'il faut corriger en effectuant de petites charges souvent renouvelées. Le système de grille tubulaire dont il est question au n° 61_6, est éminemment propre à éviter l'inconvénient dont il vient d'être question.

Les chaudières *Belleville* sont destinées à fonctionner à l'eau douce, et par suite à alimenter, en marine, des machines avec condensation par surface. Néanmoins, on peut être appelé à fonctionner dans certains cas, soit avec de l'eau saumâtre, soit même avec de l'eau salée. En principe, ces appareils étaient munis d'un réparateur des pertes d'eau douce qui est décrit au n° 61_{10}; ce réparateur, qui envoyait d'ailleurs souvent de l'eau salée au condenseur, est aujourd'hui abandonné. On répare les pertes en alimentant avec l'eau de mer. D'autre part, l'introduction de l'eau de la mer dans les chaudières peut avoir lieu accidentellement, à la suite de fortes fuites dans les joints des tubes du condenseur à surface.

S'il s'agit de réparer les pertes, on affecte généralement à cette opération une seule chaudière, qui est alors alimentée directement par le petit cheval, et on tient le niveau très-élevé, en diminuant le contre-poids du flotteur du régulateur d'alimentation, ou en ouvrant d'une plus grande quantité le robinet régulateur. Grâce à ce niveau élevé, la vapeur entraîne de l'eau dans l'épurateur, et cette eau est ensuite rejetée à la mer. A cause de la circulation rapide de l'eau dans les tubes, le sel n'a pas le temps de devenir adhérent, et l'eau l'emporte dans l'épurateur; l'expérience a pleinement confirmé ce fait. La hauteur du niveau à maintenir dans la chaudière est réglée d'après les indications du salinomètre dans l'eau prise à l'épurateur; la concentration de cette eau se maintient généralement à 3°; si le degré de salure est plus élevé, les entraînements d'eau sont insuffisants et il faut tenir un niveau plus haut; si le degré de salure est plus faible, les entraînements d'eau sont trop considérables et on peut tenir le niveau plus bas. La vapeur fournie par cette chaudière va travailler dans les cylindres, puis elle passe du condenseur dans la bâche à eau douce, et de là dans les réservoirs destinés à la recueillir. Lorsque ces réservoirs sont pleins, il convient, si les circonstances le permettent, de supprimer le fonctionnement de la chaudière alimentée à l'eau de mer et de la vider complétement. Toutefois, si cette opération ne peut être faite, on se contente de supprimer l'alimentation au petit cheval, en rétablissant celle de la machine; le niveau est provisoirement maintenu élevé, jusqu'à ce que le degré de concentration de l'épurateur soit descendu à 1° du salinomètre; puis ce niveau est réglé à la même hauteur que dans les autres chaudières.

Dans le cas de fortes fuites par les joints des tubes du condenseur, on est obligé de tenir le niveau élevé à toutes les chaudières en fonction, afin de faire extraction par l'épurateur dans chacune d'elles. Pour être prévenu

à temps de l'existence de ces fuites il convient de plonger fréquemment le salinomètre dans de l'eau prise à la bâche à eau douce. Dès que ce salinomètre accuse 2°, il faut élever le niveau et faire de petites extractions par l'épurateur. L'eau d'extraction est naturellement rejetée à la mer.

N° 61_8 Avantages et inconvénients des chaudières Belleville. — Tel qu'il est constitué, avec son cylindre de retenue formant réchauffeur d'eau d'alimentation, ses boîtes jumelles à circulation, son régulateur d'alimentation à volume constant, et enfin sa grille tubulaire, le modèle de 1876 nous paraît un générateur des mieux entendus et le plus propre à être employé dans la marine.

Grâce au cylindre de retenue d'eau, formant collecteur supérieur pour chaque générateur, l'eau n'est pas entraînée au dehors, les tubes inférieurs ne sont jamais alimentés à l'eau froide, le volume d'eau par cheval est augmenté, le niveau est plus stable, et il y a moins de variations dans la pression ; car la production de vapeur est beaucoup plus régulière.

Le régulateur d'alimentation à régime permanent et à volume d'eau déterminé, assure l'alimentation dans toutes les circonstances, même par les plus mauvais temps, et indépendamment de toute bande ou roulis.

Les boîtes jumelles à circulation permettent à la vapeur de se dégager librement, et assurent le retour de l'eau entraînée. Il en résulte une circulation très-active, éminemment favorable à la bonne utilisation de la chaleur. Le niveau étant plus stable et pouvant être tenu plus élevé, tous les éléments fournissent de la vapeur qui entraîne un petit excès d'eau. Cette circonstance fait éviter les corrosions dues à la décomposition du chlorure de magnésium par la vapeur surchauffée, ainsi que celles qui pourraient provenir des acides gras, et enfin les cristallisations résultant de l'alimentation momentanée à l'eau de mer.

L'application du foyer à grille tubulaire avec circulation d'eau, procure une conduite des feux facile, et permet de décrasser rapidement les feux sans fatigue et sans diminution sensible de l'activité du foyer. La combustion est plus régulière et par suite la production de vapeur plus constante. Le combustible est mieux utilisé.

D'autre part, par leur nature même, les chaudières *Belleville* présentent les avantages suivants.

I. — Inexplosibilité ; ou plus exactement danger très-limité en cas de rupture d'un tube, en raison de la faible quantité d'eau que renferme la chaudière.

II. — Possibilité d'employer sans danger des pressions très-élevées, ce qui permet de faire fonctionner les machines à grande détente, et par suite de réaliser toutes les économies de combustible que peuvent permettre les machines Woolf.

III. — Prompte mise en pression, en raison du faible volume d'eau, ce qui permet de porter rapidement un secours, d'être à l'abri d'une surprise, d'attendre ou d'observer l'ennemi sans se signaler par la fumée et sans user l'approvisionnement de combustible pour se maintenir en pression ; de pouvoir échapper à un péril résultant soit du voisinage d'un bâtiment incendié dans un port, soit de la rupture des chaînes ou du dérapage des ancres lors-

que le bâtiment est surpris au mouillage par un coup de vent; enfin, de mettre à profit une occasion favorable et imprévue.

IV. — Économie de combustible résultant de la répartition des gaz chauds entre les surfaces très-divisées, de l'exposition de la plus grande partie de ces surfaces à la chaleur rayonnée par le foyer, de l'active circulation de l'eau dans les tubes, de la propreté des surfaces de chauffe, en raison des facilités des nettoyages intérieurs et extérieurs, de la conduite facile et régulière des feux, enfin de l'emploi sans danger des pressions élevées.

V. — Faible encombrement et légèreté relative, résultant du faible volume d'eau et de la bonne utilisation des surfaces de chauffe, ce qui permet d'augmenter la puissance sans surcroît de charge.

A égalité de surface de chauffe et de grille, la réduction de poids par rapport aux chaudières cylindriques timbrées à 4^{ks}, est d'environ 50 pour 100, cette différence serait plus considérable avec 8 et 10 kilogrammes de pression.

VI. — Abaissement considérable des générateurs, et leur mise à l'abri des projectiles ennemis. Cet avantage est très-important, surtout pour les petits bâtiments. D'autre part, les dangers provenant de la pénétration d'un projectile dans un appareil évaporatoire sont bien moindres avec les chaudières *Belleville* qu'avec les générateurs ordinaires, et l'avarie se trouvera toujours plus limitée avec les premières chaudières qu'avec les secondes.

VII. — Faculté de pouvoir sans danger augmenter momentanément la pression, et par suite accroître la puissance du moteur, lorsque, dans certaines circonstances de mer ou dans une situation périlleuse, il faut, coûte que coûte, obtenir promptement de la machine le maximum de vitesse réalisable.

VIII. — Suppression des projections d'eau dans les cylindres, point très-important pour les bâtiments d'escadre qui doivent tenir leur poste, et surtout devant l'ennemi.

IX. — Facilité de réparation, résultant de ce que les divers éléments d'un générateur peuvent se démonter séparément.

X. — Facilité d'entretien, les nettoyages tant extérieurs qu'intérieurs pouvant être faits très-aisément.

XI. — Facilité d'installation et d'embarquement, le montage à bord se faisant par l'assemblage successif de pièces détachées dont la manœuvre est facile, chaque pièce étant d'un poids et d'un volume relativement faibles.

Les chaudières *Belleville* des anciens modèles présentaient pour la marine des inconvénients très-sérieux, que l'on peut résumer comme suit :

I. — Le dégagement de la vapeur n'était pas suffisamment assuré; il en résultait des entraînements fréquents d'eau, et très-souvent la vidange du générateur, d'où des coups de feu.

II. — L'alimentation était très-difficile par mauvais temps.

III. — La production de vapeur était très-sensible aux variations de l'intensité des feux, et, par suite, aux opérations de charge et de décrassage.

IV. — Le niveau était souvent instable par suite de la faible capacité du réservoir et des irrégularités de l'alimentation.

V. — Enfin, les tubes inférieurs des éléments étaient exposés à des variations considérables de dilatation, résultant des alternatives de la température de l'eau qu'ils renfermaient. L'eau d'alimentation ne se distribuait d'ailleurs pas également bien dans tous les éléments.

Avec le modèle de 1876, tel que nous l'avons décrit, et avec l'adjonction de l'épurateur, des boîtes jumelles, du régulateur d'alimentation à régime permanent et enfin avec l'emploi de la grille tubulaire, tous ces inconvénients ont disparu ; les chaudières *Belleville* sont devenues véritablement pratiques, et n'exigent pas l'emploi de chauffeurs plus intelligents que ceux qui conduisent les chaudières ordinaires.

N° 61_9 Considérations diverses relatives aux chaudières Belleville et en général aux chaudières à haute pression. — L'élévation du prix des combustibles, la nécessité pour le constructeur du navire de réserver des espaces et un tonnage de plus en plus considérables pour l'armement des bâtiments de guerre et pour l'aménagement des paquebots, donnent à la bonne utilisation de la chaleur dans les machines à vapeur marines une importance qui augmente chaque jour. Cette bonne utilisation ne peut être obtenue que par l'emploi de pressions élevées. Quelques ingénieurs limitent à 8 atmosphères la pression à réaliser ; d'autres n'hésitent pas à la porter jusqu'à 12 et même 15 atmosphères. Les pressions de 5 atmosphères s'emploient déjà très-couramment, et la réalisation des progrès importants qui attendent les machines marines, est subordonnée à la combinaison d'une bonne chaudière à haute pression.

Cette situation a donné naissance à trois types principaux de chaudières à haute pression actuellement employées pour la navigation maritime, savoir :

Premier type. — *Chaudières tubulaires cylindriques* (n° 60_2 et $_4$) à foyers intérieurs, avec tubes de fumée en retour ou en prolongement du foyer.

Deuxième type. — *Chaudières à tubes d'eau* verticaux inclinés ou horizontaux (n° 61_2 et $_3$), les tubes étant fixés d'une manière rigide par leurs deux extrémités, à des réservoirs ou collecteurs de forme quelconque.

Troisième type. — *Chaudières Belleville* (n° 61_4 et $_8$), composées exclusivement de tubes inclinés, constituant un faisceau formé d'éléments doubles.

Conditions à remplir par une chaudière à haute pression. — Toute chaudière marine à haute pression devrait pouvoir remplir les conditions suivantes :

Sécurité ; économie du combustible ; économie de poids et d'encombrement ; facilité de conduite ; facilité des nettoyages ; facilité des réparations ; absence d'entraînements d'eau ; régularité de marche.

Sécurité. — Cette condition essentielle doit se placer en première ligne : elle doit être réalisée non-seulement lorsque la chaudière est neuve, mais encore lorsqu'elle a un certain temps de service. A ce point de vue, les chau-

dières à faces planes doivent être proscrites, et la forme cylindrique est seule acceptable pour les hautes pressions. Toutefois, les chaudières cylindriques ont encore des points faibles : ce sont les faces planes qui forment les plaques de tête et la boîte à feu, et que l'on ne peut faire sphériques à cause des tubes. Or, l'expérience démontre que les variations de tension que subissent, sous l'action de la vapeur, les parois planes des chaudières, occasionnent après un temps de service plus ou moins long, la déformation et la rupture de ces parois, même sans qu'il y ait une usure prononcée.

Le danger d'explosion croît d'ailleurs rapidement avec le diamètre de la chaudière ; il en résulte que les diamètres des chaudières cylindriques doivent être forcément restreints, et d'autant plus faibles que la pression est plus élevée, à moins de donner aux tôles des épaisseurs énormes, augmentant le poids dans des proportions considérables. En outre, dans le cas de rupture, la puissance destructive est proportionnelle à la capacité du récipient ; elle est par suite beaucoup plus grande avec les chaudières du premier type qu'avec celles du second, et plus grande avec les chaudières de second type qu'avec celles du troisième.

Pour qu'une chaudière soit réellement inexplosible et offre une entière sécurité, il est indispensable qu'elle possède un réservoir d'eau et de vapeur très-limité, et que dès lors elle ne soit formée que de tubes. — Le type *Belleville* réalise seul complétement cette condition essentielle.

Économie du combustible. — L'économie du combustible résulte de la réalisation des trois conditions suivantes :

I. *Bonne combustion dans le foyer ;*

II. *Répartition aussi égale que possible de la chaleur sur les surfaces de chauffe ;*

III. *Facile absorption de la chaleur par les surfaces de chauffe.*

I. — Les foyers des deux premiers types de chaudières possèdent des grilles ordinaires ; le plus ou moins bon emploi du combustible sur ces grilles dépend du plus ou moins de soin et d'habileté des chauffeurs. La chaudière du troisième type possède un nouveau système de foyer (n° 61_6), dans lequel le combustible se distille graduellement, puis se brûle en abandonnant ses résidus en un point déterminé ; l'extraction de ces résidus se fait alors très-facilement et sans occasionner de variations dans la pression de la vapeur. La marche rationnelle et la régularité continue de la combustion dans ce foyer, procurent une économie notable de combustible par rapport aux foyers ordinaires.

II. — La répartition des gaz chauds sur toutes les surfaces de chauffe n'est pas bien réalisée dans les chaudières du premier type ; en effet, des baguettes de bois blanc placées dans tous les tubes d'une chaudière se carbonisent dans les uns et restent intactes dans les autres ; ce fait a été maintes fois vérifié.

Pour le deuxième type, le grand écartement entre les tubes, qui ne peut être évité par suite du mode même de construction, permet aux produits de la combustion de se rendre trop facilement et trop directement à la cheminée, au détriment de la bonne utilisation de la chaleur.

Les chaudières du troisième type sont dans de meilleures conditions, car les tubes y sont beaucoup plus rapprochés, d'où résulte la division des gaz chauds en lames minces.

III. — Pour la facile absorption de la chaleur, il importe : 1° *que les surfaces de chauffe puissent toujours être entretenues propres intérieurement et extérieurement ; 2° que la circulation de l'eau sur les surfaces de chauffe soit très-active ; 3° que les surfaces de chauffe soient frappées normalement par les gaz chauds et non tangentiellement.*

1° — Dans les chaudières du premier type, il est facile d'enlever le noir de fumée qui se dépose dans les tubes ; mais il est difficile de débarrasser ceux-ci des incrustations, à moins de les démonter.

Dans les chaudières du deuxième et du troisième type, à tubes d'eau, c'est l'inverse qui a lieu ; l'intérieur des tubes peut généralement être nettoyé avec facilité, tandis que l'extérieur ne peut jamais l'être qu'imparfaitement, surtout pour les tubes situés au milieu du faisceau. Toutefois, les tubes du troisième type sont bien plus abordables que ceux du second, en raison de leur petit nombre et de leur disposition. Dans tous les cas, il est bien plus avantageux de pouvoir enlever les incrustations que la fumée, et les chaudières à tubes d'eau ont à ce point de vue un avantage incontestable.

2° — L'actif renouvellement des particules liquides en contact avec les surfaces de chauffe favorise la prompte absorption du calorique, et permet d'utiliser au maximum la conductibilité du métal.

Dans les chaudières du premier type, ce renouvellement est lent, et résulte seulement des faibles différences de température entre les divers points de la masse liquide, et du déplacement produit par les bulles de vapeur qui se dégagent.

Dans les chaudières du deuxième type, qui ont les tubes verticaux ou inclinés, la circulation est plus active, parce que la vapeur formée, étant plus à l'étroit, entraîne une plus grande quantité d'eau. Mais lorsque les tubes sont horizontaux, la circulation se fait très-mal et presque toujours par à-coups, parce que la vapeur est obligé de cheminer horizontalement.

Dans les chaudières du troisième type, la circulation est très-active ; la vapeur, se dégageant de l'eau contenue dans les tubes inférieurs de chaque élément, entraîne de l'eau à l'état vésiculaire qui se vaporise, en circulant rapidement, au contact des tubes supérieurs. Ces tubes sont constamment badigeonnés par les particules d'eau que le courant de vapeur, animé d'une vitesse de 6 à 8 mètres par seconde, étale incessamment sur les surfaces de chauffe.

3° — La disposition des surfaces de chauffe perpendiculaire à la direction du courant des gaz, est bien plus favorable à l'absorption de la chaleur que la disposition parallèle. Le premier type de chaudières est, à ce point de vue, inférieur au troisième type et aux dispositions du deuxième type dont les tubes sont horizontaux ou légèrement inclinés.

Économie de poids et d'encombrement. — Au point de vue commercial, ces deux points sont très-importants, car la possibilité de substituer un fret productif à un poids mort, donne lieu à un bénéfice net qui peut être

renouvelé à chaque voyage. — Ils ont une importance non moins grande au point de vue militaire, à cause du tonnage de plus en plus considérable exigé par l'armement offensif et défensif des bâtiments de guerre.

Les poids, eau comprise, des trois types de chaudières dont il est ici question, sont entre eux approximativement comme les nombres 4, 3 et 2. Les chaudières du troisième type sont les plus légères et les moins encombrantes.

La facilité d'installation à bord varie en sens inverse du poids et de l'encombrement des parties constituantes des chaudières. Celles du premier type sont à cet égard dans les conditions les moins avantageuses. — Le montage à bord des chaudières du troisième type se fait au contraire par l'assemblage successif de pièces détachées dont la manœuvre est facile, chaque pièce étant d'un poids et d'un volume relativement faibles. Les chaudières du deuxième type participent dans une proportion plus ou moins grande à cet avantage de celles du troisième.

Facilité de conduite. — La difficulté plus ou moins grande de la conduite d'une chaudière résulte du plus ou moins de travail et de soins que nécessitent : 1° *l'entretien des feux; 2° le décrassage des grilles; 3° la surveillance de l'alimentation; 4° le maintien de la pression.*

1° et 2° — Sur le premier point, les grilles ordinaires ont par rapport au foyer à combustion rationnelle du troisième type, une infériorité notable qui se fait sentir d'autant plus que la marche est plus prolongée. — L'opération si pénible du décrassage, qu'il faut opérer toutes les huit heures au moins, occasionne un refroidissement considérable de la chaudière, et ne remédie qu'imparfaitement à l'obstruction de la grille par le mâchefer.

Avec le foyer spécial au troisième type, la facilité du service des feux, et par suite l'activité de la combustion et la bonne utilisation du combustible, restent les mêmes quelle que soit la durée de la chauffe.

3° — La surveillance de l'alimentation est une des fonctions les plus sérieuses et les plus délicates du mécanicien ; car selon qu'il alimente trop ou trop peu, il risque d'occasionner soit des entraînements d'eau nuisibles aux machines, soit des accidents encore plus dangereux : coups de feu et explosions. — En outre, lors de gros temps ou par des bandes prononcées et variables, les chaudières en général n'ont aucun moyen d'indication certaine du niveau réel de l'eau.

Le régulateur d'alimentation (n° 61_8) appliqué aux générateurs du troisième type, rend cette surveillance plus facile, en ce qu'il détermine le volume d'eau introduit par chaque unité de temps dans les chaudières, indépendamment de la pression de marche et de la situation apparente de l'eau dans les tubes de niveau.

4° — La régularité du chauffage et de l'alimentation dans les chaudières du troisième type, a pour conséquence une régularité de pression qui n'est obtenue à divers degrés dans les autres types, qu'en raison de l'augmentation si dangereuse de la chambre à eau. — Enfin, la sécurité et la facilité de production des générateurs à faible volume d'eau permettent d'obtenir à un moment donné, sans danger et sans fatigue pour le personnel, une pression notable-

ment plus élevée que la pression normale, pour les cas d'urgence qui exigent un prompt et vigoureux coup de collier.

Facilité des nettoyages. — Dans l'article *économie du combustible*, nous avons déjà indiqué que les chaudières à tubes de fumée sont d'un nettoyage intérieur difficile, et que les chaudières à tubes d'eau sont préférables, parce que les dépôts salins s'enlèvent plus facilement.

Facilité des réparations. — Les trois principales causes de réparations des chaudières, en dehors des défauts inapparents de la matière, qui sont indépendants du système, sont : 1° *les coups de feu;* 2° *les dilatations contrariées;* 3° *les oxydations.*

1° — Dans tous les systèmes de chaudières, les coups de feu sont occasionnés soit par les manques d'eau plus ou moins complets, soit par l'accumulation de dépôts quelconques sur certaines parties des surfaces de chauffe. Les trois types paraissent également sujets aux coups de feu par les manques d'eau, qui résultent d'ordinaire de faits accidentels indépendants des chaudières, tels que mauvais fonctionnement des pompes, obstruction des conduites d'alimentation, etc. — Quant aux accumulations de dépôts, les chaudières à tubes de fumée sont inférieures aux chaudières à tubes d'eau.

2° — Les dilatations contrariées sont une des principales causes de destruction des chaudières cylindriques, dont les diverses parties sont toujours chauffées inégalement. Les refroidissements brusques qui se produisent lors de l'ouverture des portes de foyer, par l'entrée subite d'un grand volume d'air froid, occasionnent des contractions funestes à la conservation des coutures, et des tôles elles-mêmes qui se crevassent à la longue.

L'effet de ces dilatations contrariées n'est pas beaucoup moins nuisible à la plupart des systèmes tubulaires. Chaque fois qu'un certain nombre de tubes réunis en un faisceau, sont exposés au feu, il arrive forcément que ces divers tubes acquièrent des températures sensiblement différentes. Si tous ces tubes sont reliés par chacune de leurs extrémités à une même plaque ou à un même collecteur transversal, les tubes les plus chauffés exercent un effort de poussée sur les pièces auxquelles ils sont fixés, alors que les moins chauffés exercent, au contraire, un effort de traction. Ces efforts en sens inverses produisent nécessairement des fuites en fatiguant la matière. — Cet inconvénient est commun aux chaudières des deux premiers types.

Dans les chaudières du troisième type, chacun des tubes composant un élément double n'est relié qu'à celui qui le précède et à celui qui le suit ; l'ensemble forme une spirale dont la dilatation est parfaitement libre. C'est un avantage considérable, car deux tubes de la même fourche n'ont jamais des températures assez différentes pour fatiguer les joints.

3° — Dans toutes les chaudières, les points sur lesquels l'eau peut séjourner, se rongent promptement par suite de l'oxydation. Les parties situées sur les fonds du bâtiment et exposées à l'humidité constante de la cale, sont aussi très-sujettes à se corroder extérieurement.

Les chaudières du deuxième et du troisième type sont exemptes de ce dernier

inconvénient, car les parties qui contiennent l'eau ne reposent pas sur le fond du bâtiment. De plus, pour les chaudières du troisième type en particulier, l'évaporation produite par la chaleur emmagasinée pendant la marche, dans les parois du foyer et dans l'enveloppe, achève l'assèchement complet des surfaces intérieures.

Au point de vue des réparations, les chaudières du troisième type ont un avantage marqué sur les autres, car la partie avariée se remplace toujours par une pièce neuve de rechange, opération qui ne présente aucune difficulté sérieuse.

Absence d'entraînements d'eau. — Toutes les chaudières à grand réservoir d'eau, et notamment celles du premier type, sont sujettes à des entraînements plus ou moins considérables. Certaines dispositions de chaudières du deuxième type sont beaucoup moins sujettes à ce grave inconvénient.

Dans les chaudières du troisième type, l'eau entraînée par la vapeur hors de la chaudière est toujours en très-petite quantité, à moins que l'on ne tienne volontairement un niveau très-élevé. Dans tous les cas, l'eau est arrêtée par l'épurateur ; mais cet appareil fonctionnerait naturellement tout aussi bien avec un type quelconque de chaudière. C'est un avantage pour les chaudières *Belleville*, qui en sont seules pourvues.

Régularité de marche. — La régularité de marche est obtenue, dans les deux premiers types, à l'aide d'une masse d'eau plus ou moins considérable, tenue en réserve dans la capacité même de la chaudière. Cette masse d'eau est nécessaire : car outre les alternatives d'alimentation, les irrégularités du chauffage et surtout les décrassages occasionnent toujours des variations de pression plus ou moins considérables. Mais les avantages que peut procurer un grand réservoir d'eau, sont achetés au prix d'inconvénients sérieux : le poids de la chaudière est plus considérable ; la mise en pression est toujours lente ; enfin, en cas d'explosion, les dangers sont plus grands.

Ces inconvénients sont évités avec les chaudières du troisième type ; mais jusqu'à ces derniers temps, les variations de pression y étaient fréquentes et considérables, à cause des irrégularités de l'alimentation, de la nature même du fonctionnement de l'appareil, et aussi du travail des feux. Les dispositions adoptées dans le dernier type de ces chaudières (n° 61₄), corrigent tous ces défauts, et leur régime de marche est actuellement très-régulier, malgré leur faible volume d'eau.

Conclusions. — En résumé la réalisation d'une bonne chaudière marine à haute pression, donnant une sécurité complète contre les explosions et une bonne utilisation de la chaleur, alliées à la régularité du fonctionnement et à la facilité pour les visites et les réparations, consiste dans la mise en pratique des deux conditions suivantes :

1° *Disposition d'un générateur exclusivement composé de tubes, ayant leurs dilatations bien libres, et permettant le facile accès de leurs surfaces tant intérieures qu'extérieures.*

2° *Emploi de dispositions ou d'organes simples et d'un service facile, procurant la constance dans la chauffe et la régularité dans l'alimentation, nécessitées par l'absence de réserve d'eau.*

La chaudière du type *Belleville*, modèle 1876, avec tous les organes dont il a été question au n° 61_8, est la seule qui réunisse complétement les conditions énoncées, et nous n'hésitons pas à la considérer comme le seul type applicable dans un avenir très-prochain, pour peu que les pressions soient portées à 8 ou 10 kilogrammes.

N° 61_{10} Réparateur des pertes d'eau douce. — La *fig.* 8, *pl.* VII, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, représente une chaudière chauffée à la vapeur et remplissant les fonctions de réparateur des pertes d'eau douce. Ce réparateur a été employé avec les chaudières *Belleville*. Fig. 8, Pl. VII.

Sur les tuyaux K, V, V' et N se trouvent des robinets dont il faut régler l'ouverture relative pour assurer le fonctionnement régulier et continu du réparateur. — La circulation de la vapeur réchauffante qui remplit la capacité D, est réglée par l'ouverture des robinets placés sur les tuyaux V et V'. On laisse arriver par le tuyau V une quantité de vapeur plus ou moins grande, suivant l'activité que l'on veut donner au fonctionnement du réparateur ; puis l'ouverture de la sortie par le tuyau V' de l'eau provenant de la condensation, est réglée à l'aide des indications d'un tube de niveau spécial placé à la base de la capacité D, pour que la vapeur que renferme cette capacité ne puisse jamais s'échapper au condenseur. — La tension de la vapeur dans le coffre H, qui se lit d'ailleurs sur un indicateur du vide, ne doit pas dépasser une atmosphère, pour que l'alimentation par le tuyau N puisse se faire sans le secours d'une pompe. L'ouverture du robinet placé sur le tuyau K est réglée en conséquence. Enfin, l'ouverture de l'alimentation par le tuyau N doit être telle que le niveau se maintienne autant que possible au milieu du tube indicateur *q*.

Il importe de remarquer que, s'il est avantageux de vaporiser à une basse température l'eau que renferment les tubes, à cause de la moins grande quantité de chaleur qui est alors nécessaire, il ne convient pas cependant de descendre notablement au-dessous de 100°. Il faut en effet que la pression dans le coffre H soit toujours suffisante pour modérer les ébullitions qui résultent des variations de pression à la chaudière, et par suite de l'action vaporisatrice de la vapeur amenée dans la capacité D ; sans cela, ces ébullitions occasionnent des entraînements d'eau quelquefois considérables, et les pertes sont réparées avec de l'eau salée au lieu de l'être avec de l'eau distillée. — Au surplus, les réparateurs dont il s'agit sont aujourd'hui abandonnés, et les pertes sont directement réparées par l'alimentation à l'eau de la mer, en affectant une chaudière à cette opération, et en maintenant le niveau assez élevé pour obtenir l'extraction par entraînement d'eau dans l'épurateur.

N° 62. — 1. Tôles actuellement en usage pour les chaudières de l'État. Feutrage des parois. — 2. Confection des chaudières en tôle d'acier. — 3. Combustibles liquides. Foyers à pétrole. — 4. Appareils fumivores. — 5. Tubes mobiles : systèmes divers. — 6. Dispositions récentes pour sécheurs et surchauffeurs. — 7. Sifflets de signal. — 8. Boîte à clapets pour extraction continue. — 9. Nouvelles éprouvettes de salinomètres.

N° 62_1 Tôles actuellement en usage pour les chaudières de l'État. — Depuis l'année 1870, les tôles employées à la confection des chaudières ont leur qualité, leur épaisseur et leurs dimensions réglées d'après les tableaux suivants, *pages* 150 *et* 151.

Modifications apportées à la construction des chaudières réglementaires à faces planes. — Un nouveau plan des chaudières réglementaires à faces planes consacrant les modifications apportées jusqu'alors, et introduisant quelques modifications nouvelles, a été étudié à *Indret* et rendu réglementaire en juin 1870. Avant cette époque, les chaudières avaient reçu successivement les modifications suivantes : Les tirants sont tous en fer rond et leur écartement est fixé à 0ᵐ,102 (dépêche du 5 mars 1867). — L'emploi des tubes mobiles, système Langlois, est généralisé (dépêche du 16 juillet 1868). — Les portes des boîtes à fumée sont modifiées pour permettre la mise en place, sur les angles, des tubes Langlois (dépêche du 21 juin 1867). — Des portes de visite sont installées sur la façade, au bas de la lame d'eau qui est au-dessus des boîtes à fumée (dépêche du 4 octobre 1869.) — Les entretoises à écrous sont abandonnées, et remplacées par des entretoises taraudées et rivées pour les lames d'eau verticales, et par des boulons rivés, à douilles, pour les lames d'eau situées sous les cendriers (dépêche du 3 mars 1870). — Enfin, il a été adopté un nouveau système de grilles pour les chaudières basses (dépêche du 3 mars 1870).

La rivure des entretoises taraudées se fait à froid. Les deux tôles sont taraudées d'un seul coup, avec un taraud très-allongé, de manière que les filets des deux trous correspondent. L'entretoise étant taraudée cylindriquement, est coupée de longueur et saisie par une mâchoire à tourne-à-gauche, qui embrasse trois filets, soit 7 millimètres de hauteur, et que l'on serre au moyen d'une vis; les bavures étant abattues au bout opposé de l'entretoise, pour faciliter l'entrée, cette entretoise est mise en place et vissée jusqu'à ce que la mâchoire vienne porter sur la tôle. L'entretoise doit alors dépasser de 7 millimètres de l'autre bord. Quand toutes les entretoises d'une lame d'eau sont vissées, ou même quand toutes les entretoises d'une chaudière le sont, on commence le rivetage. En contre-tenant d'un côté avec une masse, on forme, au marteau, la rivure de l'autre côté; les deux rivures sont d'abord formées, et sont ensuite achevées en même temps. La mise en place de toutes les entretoises avant de commencer de river, fait éviter les grandes vibrations de la tôle et le rapprochement des deux faces de la lame d'eau. — Les entretoises du fond de cendrier portent une tête à six pans qui est placée en dessous; les douilles intermédiaires, consistant simplement en morceaux de tôle roulée, sont en deux par-

ties pour faciliter leur introduction. La rivure se fait à chaud dans le cendrier, et sur un bout de 25^{mm} qui a été laissé en excédant lorsque l'entretoise a été coupée de longueur.

Concurremment avec les tubes démontables *Langlois*, on emploie aussi les tubes *Gantelme* et les tubes *Toscer* (n° 62_4). A la suite de l'accident survenu aux ciels de foyer du *Lagalissonnière*, qui ont reçu un coup de feu occasionné par les dépôts graisseux, il a été décidé que pour faciliter le nettoyage des ciels, les deux rangées inférieures de chaque faisceau tubulaire comporteraient des tubes démontables. Cette mesure serait excellente si les trous à sel des façades permettaient l'introduction des hommes chargés du nettoyage ; mais elles sont trop petites pour cela ; et c'est encore moins les tubes que la petitesse de ces ouvertures qui gêne pour le nettoyage des ciels de foyer. On s'explique difficilement, d'ailleurs, que ces ciels que l'on réussissait à maintenir propres avec la condensation par mélange, soient plus difficiles à nettoyer avec un condenseur par surface ; car les dépôts graisseux s'enlèvent plus aisément que les incrustations de sulfate de chaux, à moins qu'on n'ait laissé prendre à ces dépôts graisseux une épaisseur considérable.

Les modifications apportées aux grilles du type bas sont les suivantes : les foyers avaient trois rangées de grilles de $0^m,55$ de longueur ; ces trois rangées ont été remplacées par deux, mais les grilles ont une longueur de $0^m,83$. On a par suite supprimé l'un des sommiers intermédiaires et ses galoches.

Les plans adoptées en juin 1870 consacrent les modifications suivantes :

Modifications communes aux types haut et bas. — La partie arrondie du conduit de fumée est supprimée et remplacée par deux faces planes. Ce changement permet non-seulement de mettre des entretoises entre le ciel, la façade et les flancs de la chaudière d'une part, et les faces correspondantes du conduit de l'autre ; mais encore il rend la construction du conduit de fumée plus simple, et facilite la mise en place des patins pour les tirants. Cette modification qui avait déjà été adoptée pour les chaudières renforcées, est maintenant appliquée à tous les types.

— Les taquets placés pour soulager les chaudières ont été abaissés pour faciliter l'emploi des crics hydrauliques.

— Les côtés extrêmes de la boîte à fumée ont été modifiés par une diminution de la courbure des tôles qui forment le conduit de fumée.

— Le nombre des entretoises a été augmenté dans les cendriers, dans la partie haute des façades, dans les flancs des foyers, dans les boîtes à feu, dans les lames d'eau des boîtes à fumée, dans les fonds et dans les conduits de fumée.

— Les patins des tirants isolés, qui étaient placés sur les faces latérales, au-dessus des tubes, sont remplacés par des cornières qui forment le prolongement des armatures situées à la hauteur du faisceau tubulaire, et qui s'élèvent jusqu'au dôme de la chaudière. Par cette disposition, les faces latérales sont mieux consolidées.

— En raison de l'usure rapide des tôles des conduits de fumée, l'épaisseur de ces tôles a été portée à 12 millimètres.

TABLEAU DES QUALITÉS

DES TOLES POUR LA CONSTRUCTION DES CHAUDIÈRES

TYPE HAUT.

DIFFÉRENTES PARTIES des chaudières.	QUALITÉ des tôles.	ÉPAISSEUR des tôles.	LONGUEUR des tôles.	LARGEUR des tôles.	POIDS par feuille.
		millimètres.	mètres.	mètres.	kilogram.
Plaques de tête. AV	fine	16	1,40	0,96	167
Plaques de tête. AR	d°	16	1,65	0,96	205
Foyers. Flancs des foyers	d°	11	3,02	0,95	245
Foyers. Ciels des foyers	d°	11	2,38	0,96	191
Foyers. Cendriers	supérieure.	11	2,55	0,85	182
Foyers. AR des boîtes à feu	fine	11	2,78	0,82	195
Foyers. Côtés des boîtes à feu	d°	10	1,55	0,62	72
Boîtes à fumée. Faces latérales	d°	10	2,86	0,80	178
Boîtes à fumée. Fonds	d°	14	1,00	0,27	29
Enveloppes. Façade (bas de la) pour 5 foyers.	supérieure.	11	4,85	1,40	581
— — 4 foyers.	d°	11	3,90	1,40	468
— — 3 foyers.	d°	11	2,96	1,40	354
Façade (haut de la) pour 5 foyers.	d°	11	4,85	0,85	370
— — 4 foyers.	d°	11	3,90	0,85	284
— — 3 foyers.	d°	11	2,96	0,85	215
Flancs	ordinaire.	11	3,15	1,05	282
Faces AR	d°	11	3,15	1,05	282
Dessus des chaudières	d°	10	3,00	1,05	245
Fonds	supérieure.	14	3,50	1,15	438
Coffres à vapeur. Face AV (Dessous du coffre à vapeur)	d°	11	3,20	1,00	274
Coffres à vapeur. Face latérale pour les chaudières dont le coffre est à une extrémité	ordinaire.	11	1,70	1,50	218
Conduits de fumée. Face AR bas (faisant suite aux plaques à tubes) pour une chaudière de 5 foyers.	fine.	12	4,90	1,25	572
— 4 foyers.	d°	12	3,90	1,25	456
— 3 foyers.	d°	12	3,20	1,00	299
Face AV pour une chaudière de 5 foyers.	d°	12	5,00	1,00	467
— 4 foyers.	d°	12	4,00	1,00	374
Dessus des conduits pour toutes les chaudières, et face AV d'une chaudière de 3 foyers	d°	12	3,20	1,00	299
Portes et contre-portes des tubes	commune.	5	1,15	0,75—0,65	33—29
Portes pour cendriers	d°	5	0,70	0,34	9
Cheminée	d°	5	3,50	1,00	136
Échantillons des cornières.	Cornières pour AR des boîtes à feu. 75 sur 75 de côté, pesant $11^{kg},30$ le mètre.				
	Cornières pour contour de la chaudière et têtes des lames d'eau. 80 sur 80 de côté, pesant $13^{kg},45$ le mètre.				
	Cornières pour patins de tirants. 80 sur 100 de côté, pesant $17^{kg},00$ le mètre.				

' DES DIMENSIONS

ACES PLANES A MOYENNE PRESSION.

TYPE BAS.

DIFFÉRENTES PARTIES des chaudières.	QUALITÉ des tôles.	ÉPAISSEUR des tôles.	LONGUEUR des tôles.	LARGEUR des tôles.	POIDS par feuille.
		millimètres.	mètres.	mètres.	kilogram.
Plaques de tête. AV	fine.	16	1,10	1,00	130
Plaques de tête. AR	d°	16	1,40	1,00	174
Foyers. Flancs des foyers	d°	11	2,85	0,85	203
Foyers. Ciels des foyers	d°	11	2,22	0,96	182
Foyers. Cendriers	supérieure.	11	1,90	0,85	138
Foyers. AR des boîtes à feu	fine.	11	2,55	0,80	174
Foyers. Côtés des boîtes à feu	d°	10	1,05	0,50	48
Boîtes à fumée. Faces latérales	d°	10	2,25	0,85	147
Boîtes à fumée. Fonds	d°	14	1,00	0,18	19
Enveloppes. Façade (bas de la) pour 5 foyers.	supérieure.	11	4,85	1,30	539
— — 4 foyers.	d°	11	3,90	1,30	434
— — 3 foyers.	d°	11	2,96	1,30	329
Façade (haut de la) pour 5 foyers.	d°	11	4,85	1,20	498
— — 4 foyers.	d°	11	3,90	1,20	401
— — 3 foyers.	d°	11	2,96	1,20	304
Flancs	ordinaire.	11	3,10	1,10	292
Faces AR	d°	11	2,15	1,05	194
Dessus des chaudières	d°	10	3,00	1,05	245
Fonds	supérieure.	14	3,50	1,15	438
Coffres à vapeur. Face AV (dessous du coffre à vapeur)	d°	11	2,60	1,05	236
Face AV (côté du coffre à vapeur)	d°	11	2,25	1,20	231
Face AV	d°	11	3,15	1,20	324
Face latérale pour les chaudières dont le coffre est à une extrémité.	ordinaire.	11	1,30	1,30	144
Conduits de fumée. Face AR bas (faisant suite aux plaques à tubes) pour une chaudière de 5 foyers.	fine.	12	4,90	1,00	458
— 4 foyers.	d°	12	3,90	1,00	365
— 3 foyers.	d°	12	3,20	1.00	299
Face AV pour une chaudière de 5 foyers.	d°	12	4,90	1.20	550
— 4 foyers.	d°	12	3,90	1,20	438
Dessus des conduits pour toutes les chaudières, et face AV d'une chaudière de 3 foyers.	d°	12	3,20	1.00	299
Portes et contre-portes des tubes	commune.	5	0,95	0,75—0,65	28—25
Portes pour cendriers	d°	5	0,60	0,34	8
Cheminée	d°	5	3,50	1,00	136

Échantillons des cornières.

- Cornières pour AR des boîtes à feu. 75 sur 75 de côté, pesant 11^{kg},30 le mètre.
- Cornières pour contour de la chaudière et têtes des lames d'eau. 80 sur 80 de côté, pesant 13^{kg},45 le mètre.
- Cornières pour patins de tirants. 80 sur 100 de côté, pesant 17^{kg},60 le mètre.

Modification spéciale au type haut. — La longueur des ciels de foyer qui était de 2m,38 a été réduite à 2m,32.

Modification spéciale au type bas. — La longueur des ciels de foyer qui était de 2m,30 a été réduite à 2m,22.

— Dans l'ancien appareillage des tôles, les flancs étaient formés de trois tôles ayant des dimensions inégales. Une grande tôle de 1m,43 de large, quand celle du haut n'avait que 1m,00 et celle du bas 0m,85, était placée au milieu, pour faciliter la mise en place des patins de tirants sans travail préparatoire. Maintenant que tous les patins sont formés par des cornières s'appliquant sur toute la hauteur de la face latérale, cette disposition des tôles n'est plus nécessaire, car les cornières doivent être renvoyées à la demande des clins de rivure, c'est-à-dire en deux points différents. On a par suite établi que les faces latérales comporteraient trois tôles égales de 11mm d'épaisseur, ayant 3m,10 de long sur 1m,10 de large.

— Pour faciliter les assortiments, on a adopté une dimension de tôles unique pour le dessus des chaudières pour les deux types haut et bas. Ces tôles ont 10mm d'épaisseur, 3m,00 de long et 1m,05 de large.

— Les tôles de la face arrière ont 11mm d'épaisseur, et 1m,05 de large pour les deux types ; mais elles ont 2m,15 de long pour le type bas et 3m,15 pour le type haut.

Feutrage des parois. — Toutes les chaudières sont recouvertes de matières isolantes, sauf sur la face avant depuis le sommet de la porte de la boîte à fumée jusqu'à la base. — On emploie généralement des feuilles de feutre, cousues côte à côte et préalablement trempées dans une dissolution d'alun, puis recouvertes d'une toile fortement tendue. Le tout est ensuite maintenu en place au moyen de lattes de fer verticales et transversales, fixées par des vis sur l'enveloppe de la chaudière. La toile est d'abord mouillée et séchée avant d'être mise en place, pour éviter son allongement ; quand le feutrage est terminé, cette toile est peinte au blanc de zinc délayé à la colle forte. — La partie avant de la façade correspondant aux boîtes à fumée et aux fourneaux, est toujours peinte en noir pour éviter le rayonnement, sur les chauffeurs, de la chaleur des foyers opposés, lorsque leurs portes sont ouvertes pour le service. Ces parties basses de la chaudière sont d'ailleurs plus facilement tenues propres avec la peinture noire qu'avec toute autre peinture. — Les portes des boîtes à fumée sont généralement munies d'écrans en bois, doublés d'une feuille de tôle, et placés à quelques centimètres de la porte. Cette disposition a surtout pour but d'empêcher que les chauffeurs soient exposés au rayonnement de la chaleur de ces portes, en même temps qu'elle les maintient à une température plus basse, par suite du courant d'air qui s'établit entre la porte et l'écran.

Sur quelques navires de guerre anglais, les chaudières sont entourées de quatre épaisseurs de feutre, et le tout est recouvert par des feuilles de tôle galvanisée, tenues de distance en distance par des vis taraudées dans l'enveloppe de la chaudière.

A bord, on évite autant que possible d'employer des matières combustibles

pour entourer les chaudières; aussi n'y rencontre-t-on pas les garnitures en bois, comme sur les cylindres. Ces enveloppes en bois ne s'emploient que dans des cas exceptionnels, pour des chaudières cylindriques verticales à un seul foyer, d'ailleurs de faible puissance, et seulement usitées dans la marine du commerce comme générateurs de la vapeur des moteurs pour cabestans.

N° 62. Confection des chaudières en tôle d'acier. — On s'occupe beaucoup, depuis une dizaine d'années, de la substitution des tôles d'acier aux tôles de fer dans la construction des chaudières. Les avantages que l'on a en vue sont de deux sortes: diminution du poids des chaudières par suite de la réduction des épaisseurs du métal, l'acier étant plus résistant que le fer, et plus grande durée résultant de ce que l'acier est moins oxydable que le fer.

A part quelques rares exceptions, les premiers essais de l'emploi de l'acier dans les chaudières n'ont pas été heureux. Cela provenait du manque d'homogénéité de ce métal et de la difficulté de le travailler. Quelques bâtiments de la flotte ont usé des chaudières dont les fourneaux étaient construits en tôles d'acier. Par suite du manque d'homogénéité dont nous venons de parler, ces tôles d'acier se perçaient assez rapidement par places, notamment dans les angles arrondis des cendriers, et surtout aux angles de raccordements avec la porte du fourneau; l'usure venant de l'intérieur de la chaudière, le trou qui se formait était conique, très-évasé, la pointe dans le cendrier. A un moment donné, le passage du rouable sur cette pointe déterminait une fuite. A deux centimètres autour du trou, la tôle avait conservé toute son épaisseur.

D'autres fois, les tôles d'acier travaillées se trempaient par le seul fait d'un courant d'air froid, et devenaient très-cassantes. Il se produisait alors, au moindre choc, pendant la confection, des ruptures qui obligeaient à changer la tôle.

Ajoutons enfin que les tôles d'acier ont été essayées pour les foyers des chaudières de locomotives, sur les chemis de fer de l'*Est* et de *Lyon*, mais sans succès; après une marche de quelques mois, ces foyers ont dû être remplacés. Les tôles d'acier ne possédaient pas assez de douceur pour se prêter aux incessants changements de forme qui résultent de l'échauffement et du refroidissement journaliers des chaudières de locomotives.

Ces divers inconvénients peuvent être évités maintenant, et l'acier figure déjà pour une grande part dans la construction des chaudières. Toutefois, la marine militaire ne l'a pas encore adopté d'une façon courante.

La question de la substitution de l'acier au fer pour la construction des chaudières a été retardée, en France, par l'ordonnance de 1843 sur les machines, qui avait fixé l'épaisseur de la tôle de fer, sans prévoir l'emploi d'un métal plus résistant. L'usine *Petin* et *Gaudet* présenta à l'Exposition de 1855 une chaudière cylindrique en tôle d'acier, la première qui ait été construite en France. Cette chaudière fut soumise, après trois ans de service au Conservatoire des arts et métiers, à des épreuves nombreuses. C'est à la suite de ces expériences que l'administration supérieure a permis la construction, pour le commerce, de chaudières en tôle d'acier fondu, avec une épaisseur égale à la moitié seulement de celle de la tôle de fer. Les conditions de résistance à la rupture par traction

étaient d'au moins 60^{kg} par millimètre carré de section, avec un allongement correspondant d'au moins un quinzième, soit 7 p. 100 en nombre rond. Depuis lors, la condition d'épaisseur a été supprimée, et les chaudières sont seulement soumises aux conditions de résistance lors des épreuves à l'eau froide.

D'après les résultats d'expériences très-intéressantes, faites tant au Conservatoire des arts et métiers que dans les établissements de la Marine, les tôles d'acier peuvent se classer en trois catégories : *tôles vives*, *tôles demi-douces* et *tôles douces*.

Tôles vives. — Les tôles vives ont, à froid, une grande résistance à la rupture par traction; elles ont en même temps une faible faculté d'allongement. Ces tôles peuvent acquérir de la raideur et perdre de leur ductilité par la trempe à basse température; elles sont aigres à chaud sous le marteau. Elles fournissent des burins résistants.

Les tôles vives paraissent destinées à entrer uniquement dans la confection des charpentes et des appareils ayant à supporter de grands efforts statiques, mais point de chocs. Autant que possible, elles ne doivent pas subir de travail à chaud. Il convient que les tôles minces de 5^{mm} d'épaisseur et au-dessous, aient une résistance à la rupture de 85^{kg} par millimètre carré de section, et un allongement correspondant de 7 p. 100, cet allongement étant mesuré sur une longueur prismatique de 0^{m},20. Pour les tôles fortes, la résistance minimum à la rupture ne doit pas être inférieure à 80^{kg} par millimètre carré de section, avec un allongement correspondant égal à 8 p. 100.

Tôles demi-douces. — Les tôles demi-douces offrent une résistance à la rupture moindre que celle des tôles vives, mais elles s'allongent davantage, et conservent une certaine ductilité après la trempe à basse température. Elles se travaillent suffisamment bien à chaud si on les manie avec précaution. Elles fournissent des burins médiocres.

Ces tôles paraissent très-propres à la construction des charpentes et des appareils destinés à supporter de grands efforts statiques, mais exposés aussi à des secousses, des chocs, des ébranlements d'une certaine importance. Il convient que les tôles minces de 5^{mm} d'épaisseur et au-dessous, aient une résistance minima à la rupture de 70^{kg} par millimètre carré de section, et un allongement correspondant d'au moins 9 p. 100. Pour les tôles fortes, la résistance à la rupture ne doit pas être inférieure à 68^{kg} par millimètre carré de section, avec un allongement correspondant d'au moins 10 p. 100. — Aux essais de trempe, les tôles demi-douces doivent pouvoir prendre sous l'action de la presse, une courbure permanente dont le rayon intérieur ne dépasse pas quatre fois l'épaisseur du barreau expérimenté. — Enfin les burins faits avec des tôles fortes ne devront prendre que faiblement la trempe, et se refouler sensiblement sous l'action du marteau.

Tôles douces. — Les tôles douces présentent une résistance à la rupture par traction sensiblement moindre que celle des deux premières qualités, et par contre une faculté d'allongement très-marquée. Elles se modifient très-peu par la trempe à basse température, se travaillent facilement, et se prêtent en quelque sorte à toutes les formes, quand elles sont travaillées au marteau et à chaud. Enfin, elles fournissent des burins tout à fait impropres au service.

Les tôles douces sont celles qui présentent le plus d'intérêt pour la marine: **car ce sont** celles avec lesquelles il est possible de construire des chaudières **notablement** plus résistantes, plus légères et plus durables que les chaudières en **tôle de** fer. Voici, d'après une circulaire ministérielle du 11 mai 1876, les **conditions** de recette des tôles et des cornières en acier.

Classification par dimensions des tôles d'acier. — Les limites des dimensions des tôles employées, sont indiquées dans le tableau ci-dessous, dans lequel les tôles sont classées d'après leur surface, en cinq catégories.

TOLES RECTANGULAIRES AU-DESSUS DE 40^{mm} DE LARGEUR.

ÉPAISSEUR en millimètres.	LONGUEUR maxima en mètres.	LARGEUR maxima en mètres.	SURFACES MAXIMA EN MÈTRES CARRÉS. 1re catégorie.	2e catégorie.	3e catégorie.	4e catégorie.	5e catégorie.
1,5	3,75	1,20	»	2,00	2,75	3,25	»
2,0	4,00	1,30	»	2,50	3,00	3,50	»
2,5	4,75	1,30	2,20	2,75	3,25	3,75	»
3,0	7,00	1,50	2,50	3,25	4,00	4,75	5,75
4,0	7,50	1,50	3,00	3,75	4,50	5,00	6,00
5,0	8,00	1,60	3,50	4,50	5,00	5,50	6,60
6,0	9,00	1,80	3,75	4,75	5,25	5,75	7,00
7,0	10,00	2,00	4,50	5,25	6,00	6,50	7,50
8,0	10,00	2,00	4,75	5,75	6,50	7,00	8,00
9, 10, 11	10,00	2,00	4,50	5,50	6,50	7,50	9,00
12, 13	10,00	2,00	3,75	4,75	5,50	6,50	8,00
14, 15	10,00	2,00	3,25	4,25	5,25	6,00	7,50
16, 17, 18	8,00	2,00	2,50	3,25	4,25	5,50	7,00
19, 20, 21	6,50	1,85	2,25	2,75	3,75	4,75	»
22, 23	6,00	1,85	2,00	2,75	3.75	4,75	»
24, 25	6,00	1,60	2,00	2,50	3,50	4,50	»
26 à 30	6,00	1,40	2,00	2,50	3,00	4,00	»

BANDES ET COUVRE-JOINTS.

ÉPAISSEUR en millimètres.	LONGUEUR maxima en mètres.	LARGEUR maxima en centimètres.	SURFACES MAXIMA EN MÈTRES CARRÉS. 1re catégorie.	2e catégorie.	3e catégorie.	4e catégorie.
De 5 à 8	10,00	10 à 40	2,00	2,75	3,50	4,00
De 9 à 13	10,00	10 à 40	2,75	3,50	4,00	»
De 14 à 20	10,00	15 à 40	2,00	3,00	4,00	»
De 21 à 30	10,00	20 à 40	2,60	2,00	3,00	4,00

Épreuves de recette des tôles d'acier. — Pour s'assurer de la qualité des tôles d'acier, il est fait trois sortes d'épreuves : *des épreuves à froid*, *des épreuves à chaud* et *des essais de trempe.*

Épreuves à froid. — Ces épreuves ont pour but de déterminer la résistance à la rupture et la faculté d'allongement du métal tant dans le sens du laminage que dans le sens perpendiculaire.

On établit séparément les résultats moyens de résistance et d'allongement obtenus dans chacun de ces deux sens, au moyen de cinq épreuves au moins pour chacun d'eux.

Pour ces épreuves, on découpe des barrettes de tôle dans un certain nombre de feuilles prises au hasard dans chaque livraison, en ayant soin d'expérimenter pour chaque feuille, un nombre égal de barrettes dans le sens du laminage et dans le sens perpendiculaire. Ces barrettes sont façonnées de manière à avoir pour section un rectangle dont l'un des côtés a 30^{mm} de largeur et l'autre l'épaisseur de la tôle. Toutefois pour les tôles minces au-dessous de 5^{mm}, la largeur de la barrette d'épreuve est réduite à 20^{mm}, et pour les tôles de 18^{mm} d'épaisseur et au-dessus, cette même dimension peut être réduite à l'épaisseur de la tôle.

La longueur de la partie prismatique soumise à la traction est toujours exactement de 20 centimètres. Dans aucun cas, les barrettes d'essais ne doivent être recuites.

Les barrettes sont soumises, au moyen de poids agissant directement ou par l'intermédiaire de leviers tarés avec soin, à des efforts de traction croissants jusqu'à ce que la rupture ait lieu. Ces efforts ne sont jamais calculés d'après les indications du manomètre, si la machine employée pour les produire comprend une presse hydraulique.

La charge initiale est déterminée de manière à produire un effort de traction égal aux 8 dixièmes de l'effort de rupture calculé d'après les données du tableau ci-dessous. Cette première charge est maintenue en action pendant 5 minutes. Les charges additionnelles sont ensuite placées à des intervalles de temps sensiblement égaux et d'environ une demi-minute ; elles sont calculées autant que possible à raison de *un demi-kilogramme* de traction par *millimètre carré* de la section de la barrette à rompre. On note pour chaque charge l'allongement correspondant mesuré sur la longueur prismatique primitive de 20^{cm}. L'allongement final est celui produit sous tension au moment de la rupture. Aucune barrette d'épreuve reconnue saine ne doit se rompre sous la charge initiale, ni donner un allongement final inférieur aux 8 dixièmes de l'allongement final moyen exigé. Les bandes étroites qui ne se prêtent pas à la confection des barrettes d'épreuves en travers, ne sont essayées que dans le sens de leur longueur, c'est-à-dire dans le sens du laminage.

Les charges moyennes minima par millimètre carré de la section primitive, sous lesquelles doivent se rompre les barrettes expérimentées, et les allongements moyens minima correspondants sont donnés par le tableau ci-après. — Pour les tôles, les résultats moyens qui doivent être comparés aux chiffres de

ce **tableau**, sont ceux qui ont été obtenus dans le sens de la moindre résistance.

ÉPAISSEUR en millimètres.	TOLES D'ACIER			
	POUR CONSTRUCTIONS.		POUR CHAUDIÈRES.	
	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen minimum.	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen minimum.
	kilog.	pour cent.	kilog.	pour cent.
1, 2.	47	10	»	»
2 à 3 inclusivement . .	47	12	»	»
3 à 4 d° . .	47	14	»	»
4 à 5 d° . .	46	16	»	»
5 à 6 d° . .	46	18	»	»
6 à 8 d° . .	45	20	42	24
8 à 20 d° . .	45	20	42	26
20 à 30 d° . .	44	20	42	25

ÉPAISSEUR en millimètres.	BANDES ET COUVRE-JOINTS			
	EN LONG.		EN TRAVERS.	
	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen minimum.	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen minimum.
	kilog.	pour cent.	kilog.	pour cent.
4 à 6 exclusivement . .	48	18	44	16
6 à 16 d° . .	48	22	44	18
16 à 20 inclusivement .	48	22	42	17

Essais à chaud. — L'épreuve consiste à exécuter avec un morceau de tôle de dimensions convenables, une calotte hémisphérique avec bord plat conservé dans le plan primitif de la tôle. — Le diamètre de la demi-sphère, mesuré intérieurement, doit être égal à 40 fois l'épaisseur de la tôle, et le bord plat circulaire avoir pour largeur 10 fois cette dimension; ce bord plat étant raccordé à la partie sphérique par un congé dont le rayon mesuré à l'intérieur de l'angle soit, au maximum, égal à l'épaisseur de la tôle.

En outre, pour les tôles de plus de 5^{mm} d'épaisseur, il est confectionné une cuve à base carrée, à bords relevés d'équerre; la base de cette cuve ayant pour côté 30 fois l'épaisseur de la tôle, et les bords mesurés en dedans ayant pour hauteur 10 fois cette même épaisseur. — Le fond de cette même cuve est percé, au milieu, d'un trou circulaire, avec bords relevés perpendiculairement au plan du fond et du côté opposé à celui des bords de la cuve. Le diamètre de ce trou, mesuré intérieurement après travail fini, doit être de 20 fois

l'épaisseur de la tôle et la hauteur du bord relevé de 5 fois cette même épaisseur. Tous les angles sont arrondis, leur congé intérieur ayant pour rayon l'épaisseur de la tôle.

Les pièces ainsi exécutées, avec toutes les précautions qu'exige le travail de l'acier, ne doivent présenter ni gerçures, ni fentes, même lorsqu'elles ont été refroidies dans un courant d'air vif.

Essais de trempe. — Pour ces essais, on découpe dans les feuilles de tôle des barreaux de 26^{cm} de longueur sur 4^{cm} de largeur, tant dans le sens du laminage que dans le sens du travers; toutefois, on ne prend ces barreaux que dans le sens du laminage lorsqu'il s'agit d'expérimenter des bandes ou couvre-joints ayant moins de 26^{cm} de largeur. Ces barreaux sont chauffés uniformément de manière à être amenés au rouge cerise un peu sombre, puis trempés dans de l'eau à 28°. Ainsi préparés, ils doivent pouvoir prendre, sous l'action de la presse, sans présenter de traces de rupture, une courbure permanente dont le rayon minimum, mesuré intérieurement, ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du barreau expérimenté.

Ces mêmes barreaux, lorsqu'il s'agit de tôles commandées pour chaudières, doivent pouvoir, sous l'action de la presse et sans présenter de traces de rupture, être pliés en deux, à plat, de manière que les deux moitiés soient complétement appliquées l'une sur l'autre.

N. B. — Les barreaux préparés pour ces essais de trempe ne doivent pas avoir leurs carres vives longitudinales arrondies; on tolère seulement que l'acuité des angles soit enlevée à la lime douce.

Épreuves de recette des cornières, barres profilées à boudin, à T simple ou double, en acier. — Pour s'assurer de la qualité de ces diverses sortes de barres profilées, il est fait trois séries d'épreuves : *des épreuves à froid, des essais de trempe, des épreuves à chaud.*

Épreuves à froid. — Ces épreuves ont pour but de déterminer la résistance à la rupture et la faculté de l'allongement du métal. A cet effet on découpe, dans les lames d'un certain nombre de barres prises au hasard dans chaque livraison, des barrettes qui sont façonnées de manière à avoir une section transversale à très-peu près rectangulaire ; l'épaisseur de ces barrettes est celle des lames des aciers en essai; leur largeur est de 30^{mm}. Toutefois, pour toutes les lames ayant moins de 5^{mm} d'épaisseur, cette largeur est réduite à 20^{mm}, et pour toutes celles ayant plus de 18^{mm} d'épaisseur, cette même dimension peut être réduite à l'épaisseur de la lame. — La longueur de la partie prismatique soumise à la traction est exactement de 20^{cm}. Dans aucun cas, les barrettes ne doivent être recuites.

Les barrettes sont soumises, au moyen de poids agissant directement ou par l'intermédiaire de leviers tarés avec soin, à des efforts de traction croissants jusqu'à ce que la rupture ait lieu. Ces efforts ne doivent pas être calculés d'après les indications du manomètre, si la machine employée pour les produire comprend une presse hydraulique.

La charge initiale est déterminée de manière à produire un effort de trac-

tion égal aux huit dixièmes de l'effort de rupture calculé d'après les données du tableau ci-après.

Cette première charge est maintenue en action pendant cinq minutes. Les charges additionnelles sont ensuite placées à des intervalles de temps sensiblement égaux et d'environ une demi-minute; elles sont calculées, autant que possible, à raison de *un demi-kilogramme* de traction par *millimètre carré* de la section de la barrette à rompre. On note pour chaque charge l'allongement correspondant mesuré sur la longueur primitive de 20^{cm}.

L'allongement final est celui produit sous tension au moment de la rupture. Aucune barrette d'épreuve reconnue saine ne doit se rompre sous la charge initiale, ni donner un allongement final inférieur aux huit dixièmes de l'allongement final moyen exigé.

Les charges moyennes minima par millimètre carré de la section primitive, sous lesquelles devront se rompre les barrettes expérimentées, et les allongements moyens minima correspondants, sont donnés dans le tableau ci-dessous, la traction pour les barres profilées en acier s'exerçant toujours dans le sens du laminage.

ÉPAISSEUR des lames en millimètres.	CORNIÈRES ET BARRES A BOUDIN.		BARRES A T SIMPLE.		BARRES A T DOUBLE ET A T AVEC BOUDIN.	
	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen.	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen.	Charge moyenne minima.	Allongement final moyen.
	kilog.	pour cent.	kilog.	pour cent.	kilog.	pour cent.
De 3 à 4. . .	48	18	48	18	46	16
De 4 à 6. . .	48	20	48	20	46	16
De 6 à 16. .	48	22	48	20	46	18
De 16 à 25. .	48	22	48	20	46	18

Essais de trempe. — Pour ces essais, on découpe dans les lames des barres présentées en recette, des barreaux de 26^{cm} de longueur et de 40^{mm} de largeur. Les carres vives longitudinales de ces barreaux ne sont pas arrondies; on tolère seulement que l'acuité des angles soit enlevée à la lime douce. — Les barreaux sont chauffés uniformément de manière à être amenés à la couleur du rouge cerise un peu sombre, puis trempés dans de l'eau à 28°. Ainsi préparés, ils doivent pouvoir prendre, sous l'action de la presse, une courbure permanente dont le rayon mesuré intérieurement, ne doit pas être supérieur à une fois et demi l'épaisseur du barreau expérimenté.

Essais à chaud. — Les cornières sont soumises aux épreuves suivantes : avec un bout coupé dans une barre prise au hasard, dans chaque livraison, il est exécuté un manchon tel qu'une des lames de la cornière restant dans son plan, l'autre lame forme un cylindre dont le diamètre intérieur soit égal à trois fois et demi la largeur de la lame restée plane.

Un autre bout coupé dans un autre barre, est ouvert jusqu'à ce que les deux faces intérieures soit sensiblement dans le même plan. — Un troisième bout coupé dans une troisième barre, est fermé jusqu'à ce que les deux lames arrivent en contact. — Les cornières soumises à ces épreuves ne doivent présenter ni gerçures ni fentes.

Les barres à T simple sont soumises aux épreuves suivantes :

Avec un bout coupé dans une barre prise au hasard, dans chaque livraison, est exécuté un demi-manchon tel que la lame centrale restant dans son plan, l'autre forme un demi-cylindre dont le diamètre intérieur soit égal à quatre fois la hauteur de la barre à T. — Dans l'extrémité d'une autre barre prise dans la même livraison, on fend la lame centrale par le milieu sur une longueur égale à 3 fois la hauteur totale de la barre, et on perce un trou à l'extrémité de la fente pour l'empêcher de s'étendre; puis on ploie la barre ainsi détachée dans son plan, de manière à l'amener à 45° de l'autre branche. — On a soin de conserver la branche travaillée sensiblement rectiligne, et de la raccorder avec le reste de la barre par un congé d'un faible rayon. — Les barres soumises à ces épreuves ne doivent présenter ni gerçures ni fentes.

Les barres à T et à boudin et les barres à double T sont soumises aux épreuves suivantes :

Dans l'extrémité d'une barre prise au hasard, dans chaque livraison, on fend la lame centrale par le milieu, sur une longueur égale à 3 fois la hauteur totale de la barre, et on perce un trou à l'extrémité de cette fente pour l'empêcher de s'étendre ; puis on ploie une des deux branches, en une ou plusieurs chaudes, en maintenant la lame centrale dans son plan, de manière à l'amener sensiblement à 45° de l'autre ; pour les barres à boudin, la branche ployée est celle qui porte le boudin. — On a soin de conserver la branche travaillée sensiblement rectiligne, et de la raccorder avec le reste de la barre par un congé de faible rayon.

Rivet d'acier. — Il résulte des expériences faites, tant à la romaine que sous pression d'eau, que la tenue des rivets d'acier est très-variable, et qu'à moins d'employer pour ces rivets de l'acier extra-doux, les rivets en fer sont préférables.

Aperçu de la réduction du poids des chaudières résultant de la substitution de l'acier au fer. — De nombreux essais, suivis par M. *Andrade*, ingénieur de la marine, ont été faits au *Creusot* en 1875, sur des aciers extra-doux produits par cette usine. Deux chaudières cylindriques identiques ont été construites, l'une en acier, l'autre en fer, avec les réductions d'épaisseur suivantes pour le premier de ces métaux sur le second :

Pour le corps cylindrique de la chaudière (14mm au lieu de 18mm). .	22 p. 100.
Pour les foyers (12mm au lieu de 14mm).	14 p. 100.
Pour la façade avant (15mm au lieu de 18mm)	16 p. 100.
Pour la façade arrière (17mm au lieu de 20mm).	15 p. 100.
Réduction totale du poids	11 p. 100.

Cette réduction de poids aurait pu atteindre 17 ou 18 p. 100, tout en restant dans les mêmes conditions de résistance, si les épaisseurs avaient été réduites de 25 p. 100. Il ne paraît pas qu'il convienne de dépasser ce dernier chiffre de réduction, car les rivets étant en fer, et non en acier, on est conduit naturellement à rapprocher ces rivets, ce qui diminue la résistance.

Toutefois, en tenant compte de l'accroissement de sécurité qui provient de l'augmentation du travail de rupture, il est probable que l'on pourrait accepter sans danger, une réduction de 30 p. 100 sur les épaisseurs. Dans tous les cas, il ne convient pas d'allier le fer à l'acier, surtout dans les parties qui sont exposées à de grandes variations de température, à cause de l'inégalité du travail de dilatation des deux métaux.

Au point de vue du coût et eu égard aux progrès accomplis depuis quelques années dans la fabrication de l'acier, les chaudières construites avec ce métal, et avec une réduction de 25 p. 100 sur les épaisseurs, ne doivent pas revenir plus cher que des chaudières en tôle de fer.

D'après M. *Andrade*, les tôles d'acier extra-douces du *Creusot* pourraient être admises en recette avec une charge moyenne de rupture de 42^{kg} par millimètre carré de la section, ne dépassant pas 45^{kg} et n'étant pas inférieure à 39^{kg} ; l'allongement final étant de 25 p. 100 et ne descendant pas au-dessous de 23 p. 100.

Disons pour terminer, que la réduction des épaisseurs pourrait être portée à 40 p. 100, avec un système particulier de joint proposé par M. *Andrade*. On sait, en effet, que si les différentes tôles qui constituent le corps cylindrique, sont réunies par une double rangée de rivets, la résistance de chaque joint n'est que les 0,75 de celle de la tôle : ainsi, le joint d'une tôle de 20^{mm} n'a que la résistance d'une tôle de 15^{mm}. Si donc on conserve au joint toute sa solidité, l'épaisseur de la tôle peut être réduite à 15 millimètres, sans diminuer la résistance de la chaudière. On pourra obtenir ce résultat en fabriquant des tôles de 15^{mm}, ayant leurs extrémités renforcées pour la couture. Cette disposition est inutile pour les arêtes transversales des tôles, parce que l'effort par unité de surface, que supporte une chaudière cylindrique dans le sens de sa longueur, n'est que la moitié de celui qui tend à séparer les tôles suivant une génératrice (n° 129_1 du *G^d Traité*). La construction des tôles à bords renforcés ne présente par suite aucune difficulté ; le seul inconvénient qui en résulterait, c'est que les tôles mises en place travailleraient principalement dans le sens perpendiculaire au laminage.

N° 62_3 Combustible liquide ; foyers à pétrole. — Le *pétrole* (huile minérale ou hydrocarbures liquides) est un produit naturel qu'on croit provenir de la décomposition extrêmement lente des restes fossiles d'animaux et de végétaux. Cette matière se trouve, soit disséminée dans des couches de terrains ou de roches qu'elle imprègne, soit en liberté, formant des dépôts ou des réservoirs considérables ; il arrive fréquemment que le pétrole se trouve à la surface du sol, à l'état de source. Les gisements les plus importants sont ceux de la *mer Caspienne*, de la *Gallicie*, de l'*Afrique*, de *Rangoon* (dans l'Inde) et de l'*Amérique du Nord*.

Dans le commerce, on distingue deux espèces principales de pétrole : l'une légère, d'un vert brun, dont la densité varie de 0,800 à 0,815 ; l'autre lourde, de couleur plus foncée, dont la densité est comprise entre 0,840 et 0,900.

Comme le pétrole ne peut généralement pas s'utiliser à l'état naturel, cette substance est soumise à une distillation partielle, destinée à séparer les divers éléments qu'elle renferme. Les produits de la distillation donnent :

1° *L'essence de pétrole*, dont la densité varie de 0,700 à 0,750 ; ce produit est incolore et extrêmement fluide ; il se volatilise totalement et produit des vapeurs très-inflammables. On l'emploie pour dissoudre le caoutchouc, détacher les tissus et pour remplacer, en peinture, l'essence de thérébentine.

2° Le *photogène* ou huile d'éclairage, dont la densité varie entre 0,800 et 0,815, qui est généralement de couleur jaune, et dégage des vapeurs inflammables à 37°. Lorsqu'il est mal épuré, c'est-à-dire lorsqu'il contient encore de l'essence, il émet des vapeurs qui s'enflamment à la température ordinaire.

3° Les *huiles de graissage* pour machines, dont les propriétés varient selon le mode de distillation adopté. Leur densité varie de 0,840 à 0,900.

4° La *paraffine* et le *brai*. Ce dernier est employé aux mêmes usages que l'asphalte.

Le pétrole brut et l'essence de pétrole s'enflamment au contact d'une flammèche, à toute température au-dessus de zéro.

Le pétrole raffiné d'éclairage, n'est considéré commercialement de recette, que lorsqu'il ne s'enflamme qu'à la température de 37° au-dessus de zéro. Cette température n'est pas celle de la masse totale de l'huile ; mais simplement la température du petit élément en contact avec une flammèche. L'inflammation n'a d'ailleurs lieu que par les vapeurs qui se dégagent du pétrole, car un morceau de fer rouge, ou un charbon incandescent plongés dans cette huile minérale, et complétement immergés, ne déterminent pas l'inflammation.

Les expériences de M. *Peltzer* qui ont été faites pour apprécier les qualités du pétrole, ont donné pour la relation qui existe entre sa densité et la température à laquelle il s'enflamme, les valeurs contenues dans le tableau suivant :

Tableau des densités et des températures correspondantes d'inflammation du pétrole (d'après les expériences de M. Peltzer).

Pétrole plus ou moins raffiné.					
Densité.	Température d'inflammation.	Densité.	Température d'inflammation.	Densité.	Température d'inflammation.
0,685	— 21°	0,775	+ 45°	Pétrole brut.	
0,700	— 19°	0,783	+ 50°	0,802	+ 15°
0,740	+ 15°	0,792	+ 75°	Huile brute.	
0,750	+ 17°	0,805	+ 90°	0,882	+ 28°
0,760	+ 35°	0,822	+ 110°		

M. H. *Sainte-Claire Deville*, qui a étudié les huiles minérales avec le plus grand soin, a établi leurs caractères physiques et chimiques par des expériences d'une rigoureuse exactitude ; les analyses qu'il a faites d'un grand nombre d'huiles soit brutes, soit distillées, lui ont donné les résultats moyens suivants :

Composition.	Carbone	de 84 à 87 p. 100.
	Hydrogène	de 11 à 13 p. 100.
	Oxygène	de 1 à 3 p. 100.

Densité à 0°	de 0,785	à 0,920.
Coefficient de dilatation	de 0,00072	à 0,00087.
Pouvoir calorifique	de 9.000[cal]	à 10.500[cal].
Pouvoir vaporisateur pratique	de 13[kg]	à 15[kg] d'eau.

Dans les huiles lourdes extraites de la houille, on rencontre, en outre, des traces de soufre et d'azote.

Lorsque le pétrole brut et l'essence sont logés dans des récipients fermés dont ils ne remplissent pas toute la capacité, il se produit avec le temps, un dégagement de vapeurs. Le mélange de ces dernières avec l'air atmosphérique contenu dans l'espace libre du récipient, donne lieu, lorsqu'il est mis en communication avec une flammèche, par l'ouverture, à une exploison assez énergique pour rompre le récipient si ce dernier est construit avec une matière fragile. Cette explosion se produit quelquefois dans les lampes d'éclairage, si l'on n'a pas le soin de les remplir complétement d'huile avant de les allumer. Les récipients que l'on vient de vider contiennent généralement, quelques minutes après, un mélange explosif qui provient de l'évaporation de la partie du liquide retenue par les parois du vase, et dont les vapeurs en se mélangeant avec l'air forment un mélange détonnant.

Des expériences faites en *Pensylvanie*, pour mesurer le degré de volatilité des pétroles raffinés comparativement à leur point d'ébullition, ont donné pour des quantités égales de pétroles de diverses natures, placés dans une chambre à 16°, les chiffres suivants :

Point d'ébullition	au dessous de 100°	évaporation	100,00	p. 100.
—	de 100° à 120°	—	44,00	—
—	de 120° à 150°	—	31,50	—
—	de 150° à 200°	—	8,50	—
—	de 200° à 250°	—	0,25	—
—	de 250° à 350°	—	0,00	—

Ce qui indique que pendant le temps nécessaire pour qu'une quantité donnée de pétrole raffiné, bouillant à moins de 100°, s'évapore entièrement, une même quantité de pétrole bouillant entre 120° et 150°, par exemple, n'accuse qu'un déchet de 31,50 p. 100.

Depuis la découverte, dans l'Amérique du Nord, d'immenses gisements de pétrole, découverte dont la conséquence immédiate a été la généralisation de l'éclairage économique au moyen des huiles minérales, on a cherché à substituer ces huiles au charbon pour le chauffage des chaudières à vapeur. Les avantages que présente ce nouveau combustible sont les suivants :

1° Un pouvoir calorifique très-élevé; par suite, comparativement à la houille, diminution de l'approvisionnement au profit du fret, ou augmentation de la durée du trajet.

2° L'état liquide de l'huile minérale facilite l'embarquement et l'arrimage.

3° La suppression du travail fatiguant des chauffeurs, et par suite réduction du personnel; suppression de l'ouverture périodique des foyers pour les recharger de combustible frais, et par suite diminution considérable des pertes de chaleur qui résultent de l'introduction d'un excès d'air. L'huile peut, en effet, être amenée automatiquement dans les foyers.

4° Absence presque complète de cendres, de mâchefers, de suie et même de la fumée. Ce qui est un grand avantage, tant au point de vue de la propreté et de l'économie, qu'au point de vue militaire.

5° Le feu peut être allumé et éteint avec une extrême rapidité.

Les principaux inconvénients inhérents à l'emploi des huiles de pétrole, sont les suivants :

1° Leur dilatabilité considérable peut avoir pour conséquence de faire éclater les récipients qui les contiennent, quand on n'a pas ménagé dans ces vases un espace vide suffisant.

2° Les matières volatiles ou gazeuses que contiennent les pétroles, constituent un danger sérieux, car elles peuvent rendre explosible l'atmosphère dans laquelle elles se répandent.

3° L'excessive fluidité des huiles minérales leur permet de traverser facilement la plupart des substances qui servent à fabriquer les vases dans lesquels on les renferme, et il en résulte une perte sensible.

4° En raison du 3° ci-dessus, l'air des cales et celui des chambres des machines est vicié, au grand détriment de la santé du personnel.

5° Le prix du pétrole brut est trop élevé comparativement à celui du charbon (8 fois ce dernier environ).

On ne doit se servir pour le chauffage des chaudières à vapeur, que d'huiles naturellement lourdes, ou rendues telles par une distillation des huiles légères à 140° au moins. On peut extraire des huiles ayant la densité nécessaire, des chistes bitumineux. Les résidus de la distillation du goudron, de la fabrication du gaz d'éclairage et de celle du coke, fournissent aussi des huiles lourdes excellentes pour le but proposé. — Il faut tenir compte de la dilatation possible, et ménager le vide nécessaire dans les récipients. Pour ceux-ci, le système le plus convenable paraît être celui des doubles caisses en fer, à fermeture hermétique; la caisse intérieure contenant l'huile, est séparée de la seconde par un intervalle rempli d'eau. Ces caisses doivent être logées dans des soutes revêtues de tôle, parfaitement isolées et suffisamment aérées. L'huile doit être amenée dans les foyers par des tuyaux à robinets, passant eux-mêmes dans d'autres tuyaux plus larges et remplis d'eau.

Foyers à pétrole. — Dans les différentes tentatives qui ont été faites pour appliquer les huiles minérales au chauffage des chaudières, deux méthodes distinctes ont été employées. La première consiste à transformer d'abord l'huile en vapeurs, et à brûler ensuite les gaz provenant de cette opé-

ration ; l'appareil de *Dorsett* en Angleterre, ceux du colonel *Foote*, de M. *Julius Adams* aux États-Unis, appartiennent à cette catégorie. Dans la deuxième méthode, on brûle directement le combustible à l'état liquide dans les foyers des chaudières ; à ce type se rattachent les dispositifs de MM. *Wife*, *Field et Aydon*, *Linton*, *Richardson*, en Angleterre; *Bridge-Adam* et *Bidle*, en Amérique; *Audoin*, *Sainte-Claire Deville* et *Dupuy de Lôme*, en France. — Ce dernier procédé est préférable au premier, parce que la vaporisation préalable de l'huile complique le mécanisme, exige de grandes précautions, et n'est jamais exempte de périls. Nous ne nous occuperons par suite que des appareils destinés à brûler directement les huiles minérales.

Essai à l'arsenal de Woolwich. — Les premiers essais des Anglais ont été faits en 1864 à l'arsenal de Woolwich, avec des huiles lourdes provenant de la distillation de houilles et de chistes bitumineux. Les barreaux de grille étaient remplacés par un vase de matière poreuse; l'huile des caisses d'approvisionnement s'introduisait dans le vase à travers ses pores, et venait brûler à sa surface. Cet appareil rudimentaire présentait un danger évident, car il suffisait d'une fissure dans la paroi du vase pour mettre le feu au réservoir d'huile et déterminer une explosion. La combustion était d'ailleurs difficile à régler, et il survenait des avaries fréquentes.

Dispositif Richardson. — Le système *Richardson* est surtout destiné aux machines marines; il est conçu dans le même ordre d'idées que le précédent et présente à peu près les mêmes inconvénients. Il consiste à recouvrir la grille métallique du foyer de matières poreuses, telles que pierres ponces, charbons de bois, fragments de briques, etc. Au-dessous de cette grille est un espace dans lequel arrive le pétrole; ce dernier s'infiltre au travers de la couche poreuse pour venir brûler à sa partie supérieure. La grille est disposée de manière que l'air nécessaire à la combustion puisse arriver en dessous; au besoin, un jet de vapeur peut être lancé dans les flammes pour activer le tirage.

Dispositif Wife, Field et Aydon. — Ce système a été expérimenté à *Woolwich* en 1867 ; le combustible liquide est injecté dans un foyer ordinaire au moyen de vapeur surchauffée ; l'air nécessaire à la combustion pénètre dans ce foyer par un grand nombre de petits trous percés dans la porte de la boîte à feu. Quoique supérieur aux précédents, ce procédé donne lieu à une perte de chaleur notable causée par une dépense directe de vapeur dans le foyer.

Dispositif Bridge-Adam. — Ce système a été appliqué aux chaudières de locomotive; il permet de régler la combustion à volonté. Un réservoir d'huile est placé soit sur la machine, soit sur le tender; une pompe mue par la machine comprime l'air contenu dans ce réservoir, au-dessus du pétrole. Deux tubes concentriques partent du haut du récipient; le tube intérieur plonge jusqu'au fond; le tube extérieur s'arrête à la partie supérieure occupée par l'air; tous deux sont munis de robinets convenablement disposés. La pression due à la pompe foulante, envoie dans le foyer un jet d'huile entouré d'un filet circulaire d'air, et fournit ainsi à la fois le corps combustible et le corps comburant, dont on peut régler les proportions relatives, au moyen des robinets des tubes d'introduction. Le fond du foyer reste clos et est recouvert d'une couche de coke incandescent destiné à allumer l'huile.

Dispositif Bidle (de New-York). — Le foyer est entièrement fermé ; la sole en fonte pleine, légèrement relevée de l'avant à l'arrière, présente sur sa surface, des rigoles destinées à permettre à l'huile de se répandre dans toutes les directions. Une pompe aspirante et foulante puise le combustible liquide dans des réservoirs en fer logés au fond de la cale, et l'amène sous les chaudières par un tuyau qui traverse la sole sur l'avant du foyer, en faisant saillie sur cette sole. Autour de ce bout de tuyau est disposé un grillage métallique en forme de corbeille, dans laquelle on place de la houille ou du coke incandescent ; l'huile arrivant par le tuyau tombe sur les charbons, s'y enflamme et se répand sur la sole. Des tuyères placées dans le bas du foyer, près du lieu où le pétrole entre en ignition, permettent d'introduire la quantité d'air nécessaire pour activer la combustion, qui s'opère avec une flamme allongée et sans laisser de résidu.

Dispositif Linton. — La grille est remplacée par une sole en fonte dans l'épaisseur de laquelle sont creusées des excavations en forme de calottes hémisphériques, contiguës les unes aux autres, au fond desquelles on place des charbons allumés. L'huile arrivant par le haut des chaudières, s'écoule dans le bas sur de petites capsules qui la rejettent dans les calottes pleines de combustible incandescent où elle s'enflamme. Une soupape adaptée au foyer donne issue aux vapeurs hydrocarburées qui pourraient se former en trop grande quantité.

Dispositif Audoin. — M. *Audoin*, ingénieur de la compagnie du gaz parisien, est le premier en France, qui ait fait servir les huiles minérales au chauffage des foyers industriels; ses recherches remontent à l'année 1864. Sa méthode consiste à faire tomber l'huile en jets, commandés par des robinets, sur une sole en briques réfractaires remplaçant la grille métallique. A la porte du foyer est substituée une plaque en matière réfractaire, percée de trous qui laissent passer l'air destiné à la combustion, et devant lesquels l'huile vient brûler. — Avec cet appareil, M. *Audoin* a constaté que chaque kilogramme d'huile brûlée vaporise de 13 à 15 kilogrammes d'eau.

Dispositif Sainte-Claire-Deville et Dupuy de Lôme. — C'est sur le *Puebla* qu'a été fait l'essai de ce dispositif. L'appareil de combustion appliqué à la chaudière du *Puebl* , est formé par une grille en fer disposée verticalement lans le foyer, dont la porte est condamnée et les grilles horizontales supprimées. L'intérieur de la boîte à feu est revêtu de briques réfractaires, formant voûte au-dessus d'une sole légèrement inclinée vers le fond, jusqu'au point où elle aboutit à un autel, également en briques réfractaires, occupant la demi-longueur des anciens barreaux de grille. L'huile employée provenait de la fabrication du gaz d'éclairage ; elle était très-lourde et sa densité atteignait 1,044. Elle était emmagasinée à l'arrière du bâtiment, à une hauteur suffisante pour que l'écoulement ait lieu par la différence des niveaux.

La communication est établie avec le foyer au moyen d'un tuyau formant collecteur, muni d'un robinet placé au-dessus de la grille. Sur ce collecteur s'embranchent 13 petits robinets munis d'une tubulure verticale, déversant chacun un filet d'huile à chaque barreau vertical de la grille, le long duquel elle coule dans une rainure longitudinale pratiquée dans son épaisseur, et y

brûle régulièrement avec une flamme vive et courte. Le robinet unique sert à modérer ou à arrêter le débit de l'huile; les 13 petits robinets règlent l'écoulement des filets isolés. Quand la combustion est en pleine activité, l'huile descend à peine jusqu'à mi-longueur des barreaux. La flamme alimentée d'oxygène par le courant d'air qui passe entre leurs intervalles, développe une chaleur intense.

La porte du fourneau en tôle, ouvre sur charnières et ferme par un verrou; elle est inclinée de 30° environ, et percée de trous pour l'arrivée de l'air. Un ventilateur à bras injecte l'air nécessaire à la combustion jusqu'à ce que le tirage soit parfaitement établi; son action doit cesser seulement lorsqu'on peut lancer dans la cheminée un jet de vapeur. En marche, ce jet de vapeur provient de l'évacuation des cylindres; quand la machine est stoppée, il est pris directement à la chaudière. Cette disposition qui est nécessaire à cause de la petite hauteur de la cheminée du *Puebla*, serait inutile sur un grand bâtiment.

Bien que la chaudière n'eut pas été construite en vue du nouveau combustible employé et que l'on se fut contenté de modifier le fourneau, les résultats ont été très-satisfaisants, malgré la réduction de surface de chauffe occasionné par la voûte en briques réfractaires. La puissance développée a été de 65 chevaux de 75^{km} sur les pistons, avec une dépense de 1^{kg},47 d'huile par cheval et par heure. Aux essais antérieurs avec du charbon de très-bonne qualité, la puissance effective avait été de 63 chevaux avec une dépense de 2^{kg},25 de charbon par cheval et par heure, ce qui donne 0,66 pour rapport de la consommation de l'huile à celle de la houille.

Expériences au chemin de fer de l'Est. — Une expérience tout aussi concluante a été faite en juillet 1868 sur une locomotive du chemin de fer de l'Est, pourvue d'un système de chauffage par les huiles minérales, analogue à celui qui avait été installé sur le *Puebla*, et imaginé par M. *Sainte-Claire-Deville*. La voûte en briques réfractaires du foyer n'ayant pas résisté au feu fut supprimée; il en résulta que la fumivorité fut obtenue plus difficilement. L'épaisseur de la grille et l'inclinaison de la paroi postérieure ont été calculées de manière qu'en faisant couler le combustible liquide dans les rainures longitudinales pratiquées dans l'épaisseur des barreaux, il brûle entièrement et en quantité d'autant plus considérable que le chemin qu'il doit parcourir est plus long, et cela avant d'atteindre la sole du foyer.

La distribution de l'huile s'effectue par un gros tube en bronze placé au-dessus de la porte du foyer, et muni sur sa génératrice inférieure, de 20 trous prolongés par des tubes aboutissant à autant de rainures de la grille. Un deuxième tube emmanché à frottement doux dans le premier, et portant un nombre égal de trous, fait l'office d'un robinet que le mécanicien manœuvre pour augmenter ou diminuer la quantité d'huile dépensée. — Sur un parcours de 1169 kilomètres, en service régulier, la consommation s'est élevé à 6^{kg} d'huile par kilomètre, tandis que celle du coke était de 9^{kg},20. La consommation de l'huile n'était donc que les 0,65 en poids de celle du coke.

Les épreuves précédentes, qui ont été faites sur une locomotive de petites dimensions, ont été répétées sur une machine plus puissante. Le foyer fut clos par une sole et trois murs verticaux en briques; en travers du foyer, on plaça

un bouilleur incliné, destiné à allonger le parcours des gaz et à augmenter la surface de chauffe. Sur un parcours de 1433 kilomètres, la consommation d'huile n'a été que de 5^{kg} en pleine marche. Le poids d'eau vaporisée a été de 10^{kg},90 par kilog. d'huile, tandis que le kilogramme de briquettes de bonne qualité ne vaporise que 7^{kg},90 d'eau. Le rapport des deux poids d'eau vaporisée est de 1,38.

Conclusions sur l'emploi des huiles minérales au chauffage des chaudières à vapeur. — En résumé, les essais dont nous venons de parler, et surtout les derniers, montrent que sous le rapport technologique, le problème difficile de l'emploi des hydrocarbures liquides au chauffage des chaudières à vapeur, peut être considéré comme résolu. Mais ici se pose la question commerciale, dont la solution soulève des difficultés bien plus ardues que celles qu'il a fallu vaincre pour inventer un mécanisme permettant de brûler, commodément et avec sécurité, les huiles minérales dans les foyers industriels. En effet, pour que le nouveau combustible puisse s'imposer à l'industrie, il faut que son prix de revient, en tenant compte de son pouvoir calorifique, ne soit pas plus élevé que celui de la houille; il faut encore et surtout, que sa production soit assez abondante pour fournir aux besoins de la consommation.

En Europe, les huiles lourdes provenant de la fabrication du gaz d'éclairage, celles que l'on pourrait extraire soit des chistes bitumineux, soit des sources indigènes de pétrole, ne peuvent pas être fabriquées en quantités assez considérables, ni à des prix assez bas pour entrer en lutte avec la houille.

— Les conditions sont autres en Amérique ; là, où il existe des gîtes intarissables de pétrole, l'huile ne coûte que 6 à 7 francs les 100 kilog. Aussi est-ce aux États-Unis qu'ont eu lieu les tentatives les plus nombreuses, pour arriver à construire des foyers propres à être alimentés avec l'huile minérale, et que, depuis assez longtemps, beaucoup de machines fixes servant, soit à pomper l'huile, soit à percer de nouveaux puits, font usage du nouveau combustible ; il est aussi employé au chauffage des locomotives et des fours de boulanger; il fait fonctionner de puissantes pompes d'incendie, et quelques navires à vapeur naviguent avec des chaudières où il remplace la houille.

Mais en Europe, le pétrole américain est vendu de 30 à 35 francs les 100 kilogrammes d'huile brute ; et son prix est encore augmenté par suite de la distillation nécessaire à l'élimination des éléments inflammables à cette température.

Par suite, au point de vue commercial, le chauffage au pétrole des chaudières marines, n'est pas actuellement praticable en Europe.

La navigation ne pourra bénéficier des avantages que présente ce mode de chauffage, que lorsque la découverte de nouveaux gisements d'huile minérale naturelle, aura accru dans de vastes proportions la quantité si minime que fournit l'ancien monde, ou que la science aura trouvé moyen de produire économiquement et en masse, les huiles lourdes résultant de la fabrication du gaz d'éclairage, de la distillation du goudron et de celle des chistes bitumineux.

N° 62. Appareils fumivores. — Le problème à résoudre dans un foyer est de déterminer la combustion complète du charbon, c'est-à-dire sa transformation en vapeur d'eau et en acide carbonique, sans introduire un excès d'air qui refroidit le foyer.

Le charbon en poussière et non brûlé, qui provient de la décomposition des hydrocarbures, se délaie dans les produits de la combustion et les colore en noir plus ou moins foncé, ce qui constitue la fumée. La fumée accuse par suite une combustion imparfaite; toutefois les particules noires qui s'échappent par la cheminée, ne représentent qu'une portion extrêmement faible du poids de la houille brûlée, et ne peuvent causer, par suite, qu'une perte à peu près insensible. Mais lorsqu'il y a de la fumée, la poussière de charbon se dépose sur les tubes et les courants de flamme, les encrasse et nuit à la transmission rapide du calorique. — A bord, la fumée a encore l'inconvénient de salir le pont, et celui non moins grave, en temps de guerre, de signaler la présence du bâtiments aux navires ennemis. A terre, la suppression de la fumée est une question de salubrité et de propreté.

Brûler la fumée, c'est opérer après coup la combustion du charbon en poussière qui provient des hydrocarbures. Cette opération est presque toujours très-difficile à effectuer; elle exige l'introduction dans les courants de flamme, d'une nouvelle quantité d'air qui a pour premier effet d'abaisser la température de la combustion. Ce qu'il y a de mieux à faire, c'est d'empêcher, dans le foyer même, la production de la fumée. Pour atteindre ce résultat, il faut décomposer les hydrocarbures au moment même où ils se dégagent du charbon, et leur fournir une quantité d'oxygène suffisante pour déterminer leur combustion. Comme l'oxygène est pris dans l'air et, par conséquent, mélangé avec de l'azote, ce dernier gaz ainsi que l'acide carbonique et la vapeur d'eau provenant de la combustion sur la grille, forment comme une gaîne autour des éléments d'oxygène et des éléments combustibles qui parcourent les courants de flamme, et les empêchent d'être en contact et de se combiner, d'autant plus que tous ces corps ont des vitesses parallèles. On est alors tenté d'introduire une trop grande quantité d'air en excès; mais il est mieux de détruire le parallélisme de marche des gaz, en déterminant, dans les produits de la combustion, des remous à la faveur desquels l'oxygène que ces produits contiennent est utilisé. Tous les appareils fumivores qui ont donné quelques résultats pratiques réalisent plus ou moins bien cette condition.

Dans les foyers ordinaires, l'alimentation est intermittente; or chaque opération de charge est suivie d'une production de fumée noire plus ou moins épaisse. Cette fumée est surtout abondante lorsque le foyer, au moment de la nouvelle charge, contient encore beaucoup de combustible qui n'est pas passé à l'état de coke; cela résulte de ce que la houille nouvelle vient recouvrir les gaz très-carburés, qui auparavant se dégageaient librement, et les refroidit assez pour les empêcher de brûler d'une manière complète. D'autre part, les parties inférieures du combustible frais, brusquement chauffées et mises en dilatation avant les parties supérieures, produisent aussi le même phénomène. Pendant le temps de la charge, les hydrocarbures qui se dégagent et se décomposent, ne brûlent pas parce que la température n'est pas suffisamment élevée, le foyer

étant refroidi par l'énorme quantité d'air qui passe par la porte. Un peu après, l'oxygène fait défaut, parce que la couche de charbon est relativement trop forte. Finalement, à moins d'employer du coke, il y a toujours production de fumée dans un foyer ordinaire, pendant le temps de la charge et pendant un certain temps après que cette charge est terminée. — Pour éviter ces inconvénients, on a imaginé un grand nombre de dispositifs, dont voici les principaux :

Foyers fumivores avec grilles fixes. — *Grille de Holzhausen.* — Cette disposition n'est qu'une modification assez simple des grilles ordinaires. Sur la partie supérieure des barreaux sont creusées des rainures transversalement, d'une profondeur égale à l'épaisseur du barreau; et lorsque tous ces barreaux sont en place, la surface de la grille paraît aussi découpée dans le sens transversal que dans le sens longitudinal. Cette disposition a pour but de ne faire reposer les morceaux de houille que sur une faible partie de leur surface et d'augmenter par suite l'étendue de la partie en contact avec l'air. Comme fumivorité, l'efficacité de ce système de grille est très-faible.

Grilles à gradins. — Ce genre de grille est spécialement propre à brûler les menus. Les barreaux, au nombre de six ou sept rangées superposées, sont supportés par deux points d'appui en fer rond pour chaque rangée. La longueur de ces barreaux est habituellement la moitié de celle de la grille. Les rangées étant superposées, avec un intervalle entre chacune d'elles, chaque rangée est en retrait sur l'avant par rapport à la rangée précédente inférieure, de telle sorte que les extrémités des barreaux sont sur un plan incliné. Tout-à-fait dans le fond se trouve une rangée horizontale de barreaux de grille. Le foyer est fermé en dessus par une trémie dans laquelle on met le charbon. Celui-ci descend par son propre poids et s'étale sur toute la longueur du plan incliné que forment les extrémités des barreaux de grille. La charge s'effectue ainsi sans ouverture de porte de foyer; le charbon qui vient sur la grille s'échauffe graduellement et les hydrocarbures brûlent dans de très-bonnes conditions. — Les barreaux de grille s'enlèvent facilement pour le nettoyage, et une porte latérale pratiquée vers le bas sert à l'enlèvement des cendres.

Ce système de grille donne de bons résultats avec les chaudières fixes à foyer extérieur, mais elle est d'une application presque impossible dans les foyers de nos chaudières. Elle se prête d'ailleurs très-mal à l'emploi des houilles collantes, car en piquant le feu par l'intervalle des barreaux, on engage rapidement la partie inférieure de la grille.

Grilles étagées de Lang. — Ce système ressemble au précédent; il comporte seulement trois rangées de grilles horizontales, superposées et en retrait sur l'avant; les deux rangées du haut sont prolongées par un talon incliné qui descend jusqu'à une petite distance de la rangée inférieure. Chaque talon forme un plan incliné de 28° à 30°, dont le prolongement dépasse très-peu le bout avant de la grille inférieure. Le fond du foyer est formé par une petite grille horizontale.

La charge s'effectue par les deux intervalles compris entre les rangées et par

le dessus de la rangée supérieure. Cette dernière ouverture est d'ailleurs rétrécie à la naissance de la grille, par un écran fixé à la chaudière. Par cette disposition de la charge, le charbon s'étale en plan incliné sur la grille, et le charbon frais se trouve toujours recouvert d'une couche de coke incandescent. Les hydrocarbures se dégagent par suite lentement et peuvent être brûlés.

Les scories descendent peu à peu sur la grille du fond, d'où on les extrait, comme à l'ordinaire, par une petite porte verticale placée au-dessous de la première rangée de grilles, et qui est elle-même percée en grille pour l'introduction de l'air. — Le genre de grille qui nous occupe a donné de très-bons résultats; il est applicable à nos foyers intérieurs à la condition de leur donner plus de hauteur qu'ils n'en ont habituellement.

Grilles mobiles. — Nous ne citerons que pour mémoire les grilles *Jucker*, importées en France par *Tailfer*, formées de barreaux montés comme une chaîne sans fin, et animés d'un mouvement de translation qui leur est donné par la machine. — Le charbon est distribué par une trémie placée à l'avant et au-dessus de l'entrée du foyer. — La grande difficulté de l'emploi de ces grilles, consiste dans la presque impossibilité de régler convenablement la vitesse pour que le fond de la grille ne soit ni engorgée ni découverte. Il y a d'ailleurs une complication de mécanisme incompatible avec une bonne installation à bord. — Il en est de même des grilles *J. Clay*, *Samuel Hall*, *Bessemer*, etc., dont les barreaux peuvent tourner sur leur axe, mais sans changer de place. Ce mouvement pouvant être produit de temps à autre à la main, ou bien étant alternatif continu, et provenant de la machine même. Ces diverses dispositions présentent l'avantage de briser le mâchefer, de débarrasser le charbon des cendres et, par suite, de rétablir à chaque instant les passages de l'air.

Appareil fumivore par injection d'air supplémentaire. — Dans nos foyers ordinaires, il y a déjà des injections d'air supplémentaire qui se produisent par la porte du fourneau, qui est percée à cet effet, et par des trous ménagés derrière l'autel. Voici dans cet ordre d'idées quelques dispositifs particuliers.

Appareil de Gardner. — Cet appareil consiste d'abord en une injection considérable d'air par l'autel. Ce dernier, au lieu d'être en maçonnerie comme à l'ordinaire, est une masse de fonte percée obliquement, et un peu en retour par rapport à la grille, d'un très-grand nombre de petits canaux dans lesquels l'air circule. Cette masse de fonte s'échauffe au contact de la flamme et porte, par suite, l'air qui la traverse à une haute température avant qu'il soit utilisé pour la combustion. On évite ainsi le refroidissement qu'occasionne l'arrivée de l'air froid dans les foyers ordinaires. — Un écran oblique, descendant du ciel du foyer, oblige les produits de la combustion à s'infléchir et à former remous autour de l'injecteur d'air, de manière à mettre en contact les parties combustibles avec l'oxygène. Ce système peut donner de bons résultats; mais l'écran, ainsi que les tubes d'injection d'air sont vite brûlés.

dans les trous des plaques de tête, coinçage qui s'opère par suite de la dilatation tant de la plaque de tête que du tube lui-même. Les bagues aident d'ailleurs à ce coinçage, parce qu'elles sont d'abord mises à force, et que leur dilatation empêche la diminution du diamètre intérieur du tube. — Il en résulte que le tube dilaté par la chaleur forme un petit bourrelet de chaque côté de la plaque de tête, ce qui lui assure une très-bonne tenue.

Voici les principaux types de tubes mobiles employés dans la marine.

Fig. 10. Pl. VII. *Tubes Langlois.* — Ces tubes sont représentés par la *fig.* 10, *pl.* VII. Sur l'extrémité avant du tube ordinaire de chaudière *d*, en laiton, se trouve brasé un petit manchon en bronze d_1, fileté à l'extérieur et se taraudant dans la plaque de tête d'' de la boîte à fumée. Le manchon d_1 est muni d'une collerette au moyen de laquelle il fait joint sur la plaque de tête, avec interposition d'une rondelle en plomb 2; cette collerette porte quatre entailles 1, dans lesquelles s'engagent les adents d'une clef à tenons, au moyen de laquelle le tube est mis en place. — Une bague en acier *c* est engagée dans le bout du tube qui pénètre dans la plaque de tête d' de la boîte à feu; cette bague est destinée, comme avec les tubes ordinaires, à assurer le joint et la tenue du tube sur la plaque de tête.

Lors de la mise en place du tube, les filets du manchon d_1 ainsi que la rondelle 2 sont frottés avec du blanc de zinc mélangé de suif. Le tube présenté, l'extrémité arrière s'engage de quelques millimètres dans le trou de la plaque de tête d'; on tourne alors avec la clef à tenons jusqu'à ce que la collerette de l'écrou d_1 comprimant la rondelle de plomb 2, fasse joint étanche sur la plaque de tête d''. Le bout du tube engagé dans la plaque de tête d' de la boîte à feu, est ensuite élargi avec un mandrin, et la bague *c* est mise en place à la manière ordinaire.

Pour le démontage du tube, la bague *c* est d'abord enlevée au moyen d'un boulon à ancre dit arrache-bague, puis on dévisse le tube. Le blanc de zinc, dont les filets ont été frottés, a maintenu le taraudage à l'abri de l'oxydation, et le tube se démonte facilement. En raison du grand diamètre du trou pratiqué sur la plaque de tête avant, le tube s'enlève sans difficulté, malgré l'épaisseur de la couche de sel qui le recouvre. — Il arrive quelquefois qu'à la suite d'un montage fait avec négligence, les filets n'ont pas été suffisamment garnis de blanc de zinc; le dévissage du tube devient alors très-difficile, sinon impossible, à cause de l'oxydation du taraudage.

La tenue des tubes mobiles Langlois est incontestablement plus que suffisante sur la plaque de tête de la boîte à fumée. Du côté de la boîte à feu, la tenue résulte du serrage du tube bagué dans un trou cylindrique. Des expériences de traction faites au port de Cherbourg, avec les dimensions des chaudières réglementaires à faces planes, ont montré que l'effort nécessaire pour arracher de son trou un tube bagué, qui était de 7.000 kilogrammes après la première mise en place, est descendu à 3.500 kilogrammes après six expériences

successives d'arrachement, et s'est maintenu à cette dernière valeur pendant quatre autres expériences effectuées sans interruption. La tenue peut par suite être considérée comme plus que suffisante, même pour des pressions élevées. — Les expériences de traction dont il vient d'être question ont été faites à froid; il est certain qu'à chaud, l'effort nécessaire pour arracher un tube est considérablement augmenté par la différence de dilatation du laiton et du fer.

Tubes Toscer. — Ces tubes sont représentés par la *fig*. 11, *pl*. VII. — Le tube ordinaire *d* est embouti, et renflé à ses deux extrémités pour former deux troncs de cône à génératrices très-peu inclinées, qui s'engagent dans les trous alésés et également coniques des plaques de tête *d'* et *d''*. Les trous de la plaque de tête *d''* de la boîte à fumée, sont un peu plus grands que ceux de la plaque de tête *d'* de la boîte à feu, afin de faciliter la mise en place et le démontage des tubes. — Les bagues en acier *c* et *c'* forcent le tube contre les trous des plaques de tête. Fig. 11, Pl. VII.

Les tubes sont mis en place au moyen d'une installation spéciale qui tend à opérer le rapprochement des plaques de tête. Cette installation consiste en un système de deux longs boulons passant dans les deux trous voisins de celui où l'on veut engager le tube, et agissant sur ce dernier par l'intermédiaire d'une traverse sur laquelle ils se serrent. Le point d'appui, sur la plaque de tête de la boîte à feu, est formé par une deuxième traverse formant griffe, pour laisser en son milieu la place nécessaire à l'enfoncement du tube. — Les bagues *c* et *c'* sont ensuite mises en place.

À la suite des expériences faites sur la résistance à l'arrachement des tubes cylindriques bagués, les tubes *Toscer* ont été modifiés; la forme conique des extrémités a été remplacée par la forme cylindrique, en ménageant un peu d'entrée; les tubes sont forcés sur place avec un mandrin, puis les bagues sont mises à leur poste. — Cette dernière installation est moins avantageuse que la première au point de vue des facilités de démontage, mais les tubes ont plus de tenue, et le travail de confection est bien moins coûteux qu'avec l'installation conique. — Le système de mise en place et de démontage des tubes ressemble à celui qui est employé pour les tubes *Gantelme* dont il va être question.

Tubes Gantelme. — Ces tubes sont représentés par la *fig*. 12, *pl*. VII. — Le tube ordinaire *d*, en laiton, est renforcé à chaque extrémité par une virole, également en laiton, de même composition que le tube (66 pour 100 de cuivre), et brasée sur ce dernier. Les deux viroles d_1 sont cylindriques et constituent des portées qui doivent être engagées et comprimées dans les trous des plaques de tête *d'* et *d''*. Pour faciliter la mise en place et le démontage du tube, le diamètre de la virole qui s'engage dans la plaque de tête *d''* de la boîte à fumée, est de un millimètre plus grand que celui de la virole qui s'engage dans la plaque de tête *d'* de la boîte à feu. — D'autre part, le diamètre du trou cylindrique de chaque plaque de tête est de un demi-millimètre plus faible que le diamètre de la virole qu'il doit recevoir. Il résulte de cette dernière disposition que, lorsque le tube est en place, le métal de la virole est comprimé dans le trou de la plaque de tête, et il existe de chaque côté de cette plaque, un bourrelet de un quart de millimètre de saillie. Fig. 12, Pl. VII.

La mise en place du tube s'effectue au moyen de l'installation que représente la *fig*. 12, *pl*. VII. — Les angles des viroles étant abattus pour donner de l'entrée, le tube est présenté et engagé dans les trous des plaques de tête, après que ces trous et les viroles du tube ont été enduits de blanc de céruse en pâte. On passe dans le tube le long boulon L, qui reçoit, du côté de la boîte à feu, le manchon *m*; ce dernier porte sur la plaque de tête; il est évidé, annulairement pour recevoir la virole du tube; on serre sur ce manchon au moyen de l'écrou 1. Dans la boîte à fumée, le manchon *n*, dont le diamètre extérieur est de un demi-millimètre plus petit que celui du trou de la plaque de tête, est enfilé sur le boulon L, et ce dernier reçoit ensuite l'écrou à douille fermée 2. — Pendant qu'on serre l'écrou 1 ou même l'écrou 2, on frappe avec un marteau sur le bout de la douille de ce dernier écrou, lequel bout est aciéré, et le tube s'enfonce. — Quand le tube est en place, la virole de la boîte à feu déborde la plaque de tête de une demi-épaisseur de cette plaque; la virole de la boîte à fumée déborde la plaque de tête de une épaisseur et demie de cette plaque. La longueur totale du tube est égale à la distance extérieure des plaques de tête plus deux épaisseurs de plaque de tête; la longueur de chaque virole est égale à trois épaisseurs de la plaque de tête. — Il résulte de l'ensemble de ces dispositions, que le tube peut parcourir dans le sens de sa longueur au moins une épaisseur de la plaque de tête, ce qui permet de remédier immédiatement aux fuites qui pourraient se déclarer en marche; il suffit, en effet, de pousser le tube de quelques millimètres vers la boîte à feu pour rendre le tube étanche.

Pour effectuer le démontage du tube *Gantelme*, il suffit de changer de place les manchons *m* et *n*, et les écrous 1 et 2; c'est-à-dire que l'écrou 2 et le manchon *n* doivent être placés dans la boîte à feu, et l'écrou 1 et le manchon *m* dans la boîte à fumée.

Observation sur l'emploi des tubes Langlois, Toscer et Gantelme. — Les trois systèmes de tubes dont nous venons de parler ne sont pas exempts de défauts. Le tube *Langlois* est d'une construction coûteuse; d'autre part, la grande différence entre le diamètre du tube et celui du fond du filet, nécessaire pour la sortie du tube malgré les dépôts dont il est recouvert, fait que la plaque de tête est très-découpée. Dans la confection, les tubes rebutés sont dans le rapport de 3 p. 100, et dans les démontages de 5 p. 100 en moyenne.

Les tubes *Toscer* présentent l'inconvénient de découper la plaque à tubes de la boîte à feu. La mise en place exige des bagues autres que celles des tubes fixes de même diamètre; elle est coûteuse par suite des précautions à prendre pour ajuster les bagues. Le démontage est défectueux en ce sens que l'effort de sortie s'exerce sur les extrémités affaiblies par l'opération du renflement. Le rebut dans la préparation est de 6 à 7 p. 100.

L'emploi des tubes *Gantelme* est rendu coûteux par le travail des deux bagues, par l'alésage des plaques de tête qui doit être très-régulier, ce qui exige beaucoup de soins et ne peut être fait que lorsque celles-ci sont rivetées à leur poste. Lors de la mise en place, il est difficile de reconnaître si la

résistance à la compression provient de l'une ou de l'autre des deux bagues, ou bien des deux à la fois. On est par suite exposé à détériorer la bague trop forte qui entre alors en se rabottant. La plaque de tête de la boîte à feu est d'ailleurs très-découpée. — Le rebut dans la préparation est de 2 p. 100; mais ces tubes se démontent sans rebut.

Tubes Infernet et Gouttes. — *MM. Mourraille et Cie* à Toulon, construisent des tubes mobiles du système *Infernet et Gouttes*, dont le prix de fabrication est inférieur à celui des tubes des systèmes précédents, et avec lesquels on évite les inconvénients que nous venons de signaler. Ces tubes sont représentés par la *fig.* 38.

Le tube cylindrique ordinaire d, porte brasée à une extrémité, une virole d_1,

Fig. 38. Tubes mobiles système Infernet et Gouttes. — Échelle 1/15°.

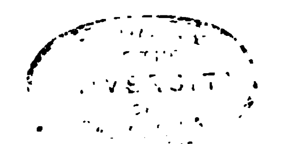
Vue 1°. Tube en montage.

Vue 2°. Tube en démontage.

Vue 3°. Griffe et arrache-bagues.

légèrement conique qui se trouve dans la boite à fumée ; tandis que la partie opposée, destinée à recevoir la bague en acier c, est placée dans la boîte à feu et conserve son diamètre. La virole conique a pour but de faciliter le joint avec la plaque à tubes avant d'', la pression intérieure tendant à écarter les deux plaques, lors du fonctionnement. Dans la boîte à feu, le tube se fixe sur la plaque de tête d', de la même manière qu'un tube ordinaire, avec bague en acier, mais sans épaulement et sans rivure.

L'outillage de mise en place se compose d'un boulon en acier a et de deux manchons b et f. Le boulon a est muni à l'une de ses extrémités, d'une partie filetée pour recevoir un écrou, et à l'autre extrémité de deux nervures formant tête. Le manchon b porte deux mortaises 1,1, destinées à laisser passer les deux nervures qui forment la tête du boulon a, et deux cannelures 2,2, destinées à les recevoir et à empêcher que le boulon ne suive le mouvement de rotation de l'écrou. Ce manchon b s'appuie d'ailleurs sur la plaque de tête par les griffes 3,3. Le manchon f serré par l'écrou, sert à enfoncer le tube lors de la mise en place. La bague c est enfoncée au moyen du manchon b, et cette bague est en poste quand les griffes de ce manchon viennent porter contre la plaque de tête.



Pour le démontage, le manchon à griffe *b* est retourné et le manchon *f* reçoit une virole en acier 4, par l'intermédiaire de laquelle il prend son point d'appui sur la plaque de tête avant. Des fenêtres pratiquées sur cette virole permettent de voir avancer le tube. On commence par donner quelques coups de matoir sur la pince du tube qui est dans la boîte à feu, et qui déborde de 2^{mm} ; cette opération décolle le tube, qui sort ensuite facilement. La bague s'enlève préalablement au moyen d'une rondelle méplate en acier, que l'on introduit dans le tube et que l'on redresse ensuite au moyen d'un crochet passé dans un anneau que porte la rondelle. Cette dernière est percée pour recevoir un boulon à baïonnette que l'on introduit quand la rondelle est en place. Le manchon 4 et la rondelle *f* se capèlent sur le boulon, et ce dernier reçoit un écrou dont le serrage fait sortir la bague.

Le rebut dans la confection de ces tubes est de 1 p. 100 ; il est nul pour le démontage.

En dehors du coût de fabrication, la main-d'œuvre de mise en place et de démontage de ces derniers tubes est moins dispendieuse que celle des trois systèmes précédents. Ainsi pour 100 tubes montés et démontés, le coût de la main-d'œuvre est de 240 francs pour les tubes *Langlois*, 384 francs pour les tubes *Toscer*, 180 francs pour les tubes *Gantelme* et 144 francs pour les tubes *Infernet et Gouttes*. L'expérience a d'ailleurs montré que ces derniers tubes ont une bonne tenue, même sous une pression élevée.

N° 62_6 Dispositions récentes pour sécheurs et surchauffeurs. — Actuellement, la surchauffe proprement dite est abandonnée ; on cherche l'économie du combustible dans l'augmentation de la pression et du degré de détente. Les bénéfices que procuraient les surchauffeurs, provenaient moins de la température élevée à laquelle on portait la vapeur, que de cette circonstance que la vapeur était complétement dépouillée d'eau. Les anciens surchauffeurs présentaient une grande surface ; et comme ils étaient logés dans un espace très-restreint à la base de la cheminée, les lames que parcourait la vapeur étaient nombreuses et étroites, et par suite inaccessibles. Ces surchauffeurs se rouillaient d'ailleurs très-rapidement ; la vapeur entraînait des plaques d'oxyde qui étaient broyées dans leur parcours jusqu'à la boîte à tiroir, de sorte qu'elles pénétraient dans les cylindres et y occasionnaient des gripures profondes. Un grand nombre de ces organes ont été mis en très-mauvais état par suite de cette circonstance. Il faut ajouter qu'on n'était rien moins que certain du degré de surchauffe de la vapeur, de sorte qu'il arrivait fréquemment que la température trop élevée nuisait au graissage.

Aussi, les surfaces de surchauffe ont été progressivement réduites, et actuellement, on n'emploie plus que des *sécheurs*, ayant juste ou à peu près, assez d'énergie pour rendre la vapeur sèche, et pouvant tout au plus lui donner un très-léger degré de surchauffe dans les circonstances exceptionnelles. La surface de ces sécheurs est actuellement règlée à deux fois la surface de grille. — Les chaudières à haute pression n'ont même pas de sécheur ; on se contente de prendre des précautions contre les entraînements d'eau. Quelquefois, une partie du coffre à vapeur est noyée dans la cheminée.

La *fig.* 13, *pl.* VII, dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, représente la dernière disposition de sécheur adoptée pour les chaudières à faces planes. — Cette disposition rend les réparations faciles, puisque toutes les parois sont accessibles. D'autre part, de nombreuses portes de visite peuvent être pratiquées, et le sécheur peut ainsi être débarrassé des plaques de rouille qui se détachent des tôles. Fig. 13, Pl. VII.

La *fig.* 14, *pl.* VII, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description suffisante, représente un type de sécheur annulaire usité sur quelques bâtiments de commerce. — Ce sécheur étant complétement noyé dans la cheminée, les gaz chauds lèchent les deux faces cylindriques de l'appareil, et l'action de ce dernier est par suite très-énergique. Fig. 14, Pl. VII.

La *fig.* 15 *pl.* VII, et dont la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée, représente un type de surchauffeur tubulaire très-employé sur les bâtiments anglais. — L'action de ce surchauffeur est très-énergique; et il va de soi qu'il n'est applicable qu'avec des pressions modérées. Fig. 15, Pl. VII.

N° 62_7 Sifflets de signal. — Presque tous les sifflets de signal employés dans la marine, sont formés d'une cloche vibrante à bord aminci, et contre lequel on projette une veine annulaire de vapeur. Dans quelques types, la cloche est remplacée par des lames planes, et l'orifice d'échappement de la vapeur est rectangulaire. — Le type le plus répandu des sifflets pour signal, est représenté par la *fig.* 16 *pl.* VIII, dont voici la légende :

Fig. 16, Pl. VIII.

A corps de l'instrument, terminé en demi-sphère formant *coupe* à la partie supérieure.

a raccordement avec le tuyau de vapeur. En principe, ce dernier doit partir du sommet de la chaudière ou du sécheur, afin que la vapeur ne soit pas humide.

b soupape sur tige à vis, manœuvrée par une poignée et servant à régler la sortie de la vapeur pour faire fonctionner le sifflet.

b' genre de robinet remplaçant souvent la soupape *b*.

c partie intérieure de l'instrument, taraudée dans le corps A et ajustée pour ne laisser libre sur les bords de la coupe, qu'un mince filet annulaire par lequel la vapeur s'échappe. — La partie *c* est prolongée par une tige sur laquelle se monte le timbre.

d timbre ayant la forme d'une coupe renversée, et monté par son centre sur la tige de la partie *c*. Le bout du timbre est à angle aigu, et se trouve exactement à l'aplomb de l'espace annulaire 2 par lequel sort la vapeur.

1,1 circulation de la vapeur dans l'instrument.

2 espace annulaire par lequel la vapeur s'échappe pour frapper le timbre.

3 bouchon fermant le trou par lequel a été introduite la soupape *b*.

Il faut avoir la précaution d'entourer le tuyau de vapeur du sifflet d'une enveloppe isolante, afin d'éviter la condensation, car la présence de l'eau nuit à l'amplitude des vibrations du timbre. — La manœuvre de la soupape *b* est toujours plus facile que celle du robinet *b'*, parce que la noix de ce dernier se coince souvent dans son boisseau, et que si on la laisse libre il y a des fuites;

mais l'emploi de la soupape entraîne à plus de complications de construction ; aussi est-elle remplacée le plus souvent par le robinet.

N° 62_8 Boite à clapet pour extraction continue. — Actuellement, il est réglementaire dans la marine, que toutes les extractions débouchent dans un tuyau commun pour aboutir à la mer. Le tuyau porte un robinet obturateur placé près de la muraille du navire, et un peu en avant, une soupape de retenue. Cette dernière soupape est généralement dans le genre des régulateurs d'alimentation ; mais elle est souvent avariée, soit dans son clapet, soit dans sa tige, par les secousses brusques qui résultent du contact intermittent de l'eau chaude et renfermant de la vapeur, avec l'eau froide qui tend toujours à s'introduire par la partie inférieure du tuyau. D'un autre côté, le clapet de retenue d'extraction étant unique pour toutes les chaudières, aurait dû avoir de très-grandes dimensions ; et d'autre part, il aurait fallu construire, en avant de ce clapet, un système de chambre à eau dans laquelle les extractions seraient venues se confondre, les filets liquides devenant parallèles pour ne pas se gêner les uns les autres.

— A un autre point de vue, les conduits d'extraction doivent être disposés pour laisser sortir librement toutes les impuretés que l'eau peut entraîner. Avec les condenseurs à surface, ces impuretés consistent principalement en amalgames de matières grasses et de matières salines, se formant souvent en boules assez volumineuses. Le clapet ne se prête pas facilement à la sortie de ces amalgames, qui ne sont pas friables comme le sel, de sorte que les extractions courent le risque d'être bouchées.

C'est pour éviter ces inconvénients que l'usine d'*Indret* a construit la boîte à clapet représentée par la *fig.* 17 *pl.* VIII, et qui a d'abord été appliquée sur le *Hugon*, voici la légende de cette figure :

Fig. 17, Pl. VIII.

- A corps de la boîte à clapet, portant trois tubulures, deux pour l'introduction de l'eau et une pour la sortie.
- *a*,*a* tubulures sur lesquelles aboutissent les tuyaux d'extraction des deux groupes de chaudières.
- *a'* chambre où se réunissent les eaux d'extraction de toutes les chaudières.
- a_1 tubulure de sortie communiquant avec le robinet obturateur placé sur la muraille du navire.
- B chambre de clapet.
- *b* clapet de retenue, en bronze à charnière, s'ouvrant de dedans en dehors. — Son axe passe dans deux presse-étoupe à vis de la boîte.
- *c* porte de visite, de montage et de démontage du clapet *b*.

Les eaux d'extraction des deux groupes de chaudières viennent se réunir dans la chambre a' par les tubulures a ; les courbures des filets liquides se rejoignent sur l'ouverture du clapet, et la sortie est aussi directe que possible. Eu égard à la quantité d'eau à débiter, la boîte d'*Indret* est moins volumineuse et moins coûteuse de construction, que ne le serait une boîte à clapet dans le genre des régulateurs d'alimentation, et son fonctionnement est beaucoup plus sûr.

N° 62, Nouvelles éprouvettes de salinomètre. — Les éprouvettes dans lesquelles les salinomètres restent en permanence pour accuser le degré de concentration, présentent généralement ce défaut que le niveau de l'eau n'est pas stable. Cela provient non seulement de la vitesse avec laquelle l'eau sort de la chaudière, mais encore de la présence de la vapeur dans cette eau. — L'éprouvette de salinomètre *Picot* (n° 171_3 du *G^d Traité*), faisait bien éviter ces inconvénients ; mais elle était un peu compliquée. M. *Bienaymé* a apporté à cette éprouvette, une modification qui la rend très-simple.

Éprouvette de salinomètre Bienaymé. — Cette éprouvette est représentée par la *fig.* 25, *pl.* VIII. — Sur un fond de boîte cylindrique A, Fig. 25,
fixé à la chaudière par un collier d, est taraudé une portion de cylindre B. La Pl. VIII.
partie supérieure de ce dernier est tournée de manière à ne conserver qu'une faible épaisseur, et l'angle est creusé en grain d'orge pour recevoir à frottement le cylindre C, terminé à sa base par la cuvette extérieure c. — Sur la base du cylindre A, se raccorde en 1, un tuyau en cuivre rouge qui met l'instrument en communication avec la chaudière, et qui porte un robinet obturateur sur son parcours ; ce tuyau est prolongé dans l'intérieur du cylindre A, par un bout a, d'abord arrondi puis recourbé horizontalement. L'eau de la chaudière débouchant par le tube a, tourbillonne dans la base de l'éprouvette ; ces tourbillonnements absorbent la force vive de l'eau, et quand l'éprouvette est pleine, il n'existe presque pas de bouillonnements dans la partie supérieure. Le salinomètre étant placé dans la partie C de l'éprouvette, on lit la graduation qui correspond au niveau de l'eau qui se déverse par le bord supérieur. De la cuvette c, l'eau est rejetée à la cale par un tuyau qui vient se raccorder en 2.

Cet instrument est d'une construction beaucoup plus simple et bien moins dispendieuse que celle de l'éprouvette *Picot*. Il ne présente qu'un seul inconvénient ; le salinomètre prend quelquefois un mouvement de rotation sur son axe qui empêche de lire la graduation correspondante au niveau ; on y remédie en arrêtant le salinomètre et en fermant un peu le robinet placé sur le tuyau d'arrivée de l'eau. Il conviendrait d'ailleurs que ce tuyau fût très-long, en forme de serpentin par exemple ; on ne doit pas le recouvrir d'une matière isolante, afin de permettre à la vapeur que contient l'eau, de se condenser en grande partie avant l'arrivée de cette eau dans l'é-

prouvette. — Si le salinomètre éprouve des soubresauts résultant du dégagement de la vapeur, il y a moyen d'y remédier en faisant déboucher le tuyau de l'eau dans un entonnoir ouvert à l'air libre, dans lequel la vapeur pourra se dégager facilement; l'eau seule arrivera par suite à l'éprouvette, et le salinomètre aura une stabilité suffisante.

Fig. 26, Pl. VIII. **Éprouvette de salinomètre, type anglais.** — Dans cet instrument, représenté par la *fig.* 26, *pl.* VIII, les bouillonnements résultant de la pression de la chaudière sont évités d'une façon absolue, parce qu'il existe une solution de continuité entre la chaudière et l'éprouvette. — L'eau est amenée par le tuyau 1 qui se raccorde sur le robinet obturateur 2; ce dernier est fixé à la base d'un cylindre A, fermé à sa partie supérieure par un couvercle non étanche. Sur le boisseau même du robinet 2, est monté un tube *a* qui s'élève à une très-grande hauteur dans le cylindre A ; ce tube a son extrémité fermée et son couvercle est maintenu par un taquet. Des fenêtres percées sur le tube *a*, un peu au-dessous de son couvercle, donnent issue à l'eau. Cette dernière se répand alors dans le cylindre A, passe par le canal 3 et pénètre dans un deuxième cylindre B. Entre deux crépines 4 et 5 fixées au cylindre B, se trouvent deux tubes : l'un *b* reçoit le salinomètre *s* ; l'autre *c* est le tuyau de trop-plein, et communique par un canal avec un robinet 6 qui déverse l'eau à la cale. Le cylindre B est ouvert à l'air libre, et porte seulement sur le côté, un petit montant 7 terminé par une potence destinée à empêcher le salinomètre d'être projeté hors de l'instrument dans les coups de roulis.

L'extrémité du tuyau de trop-plein *c* étant placée en contre-bas de l'arrivée de l'eau par le haut du tube *a*, le niveau tend à s'établir à la même hauteur dans les cylindres A et B, et la pression de la chaudière n'a plus aucune action sur le mouvement de l'eau dans l'éprouvette. — L'appareil est fixé à la chaudière par un collier 8. — Comme le montre la figure, le robinet 6 est disposé pour permettre de vider entièrement l'intérieur quand la chaudière cesse de fonctionner. Le bouchon 9 se démonte pour dégager le conduit du robinet 6, dans le cas ou il est obstrué.

CHAP IV, § 4. — DISPOSITIONS ACTUELLES DES APPAREILS ALIMENTAIRES ET D'ÉPUISEMENT DE CALE; MACHINES A VAPEUR AUXILIAIRES DIVERSES; AÉRATION DES CHAMBRES DE MACHINES.

N° 63. — 1. Dispositions récentes pour pompes et boîtes alimentaires. — Réchauffeurs de l'eau d'alimentation. — 2. Crépine réglementaire pour pompe de cale. — 3. Perfectionnements divers apportés à l'injecteur Giffard. — 4. Siphons à vapeur pour exhaution; et aérateurs pour appareil distillatoire. — 5. Réservoir d'air actuel des petits chevaux réglementaires. — 6. Pompe à vapeur américaine de Lee et Learnd pour alimentation, exhaution et incendie. — 7. Pompes centrifuges pour exhaution. Moteur Brotherhood.

N° 63_1 Dispositions récentes pour pompes et boîtes alimentaires. — La *fig.* 18, *pl.* VIII, représente une pompe alimentaire appli-

quée sur le *Hugon*, et qui aspire directement au condenseur parce que la pompe à air fait en même temps l'office de pompe de circulation (n° 48_3). Voici la légende de cette figure :

A corps de la boîte à clapets. Fig. 18 Pl. VIII.
a tuyau d'aspiration aboutissant au condenseur, et chambre d'aspiration dans la boîte à clapets.
b clapets d'aspiration en bronze, rectangulaires et à charnières, et siége vertical de ces clapets. On visite les clapets *b* en démontant le corps de pompe P_e.
b' clapets de refoulement en bronze, de forme conique avec siége horizontal ; ces clapets se visitent en démontant le réservoir d'air *c*.
c réservoir d'air.
d tuyau de refoulement de la pompe alimentaire, et robinet obturateur sur ce tuyau.
e clapet de trop-plein, de forme conique avec siége vertical, chargé par un ressort.
f ressort à boudin chargeant le clapet de trop-plein, par l'intermédiaire d'un levier.
P*e* corps de la pompe alimentaire du système à piston plongeur et à double effet.
p piston plongeur de la pompe alimentaire.
1 communications de la pompe alimentaire avec la boîte à clapets.
2 portes de visite de la chambre d'aspiration de la pompe alimentaire.
3 tubulure pour un petit tuyau amenant de l'eau froide dans la chambre d'aspiration. Cette eau froide est nécessaire, soit pour réparer les pertes, soit pour assurer le fonctionnement de la pompe.
4 bouchon du trou de visite de la pompe alimentaire.
5 porte de visite du clapet de trop-plein.

Au point de vue de l'alimentation, le système de condenseur avec pompe à air faisant en même temps l'office de pompe de circulation, est défectueux. En effet, la pression du condenseur étant de 12^{cm} de mercure environ, et la condensation s'effectuant à 45°, l'eau aspirée par la pompe dégage des vapeurs qui n'ont pas moins de 6^{cm} de mercure de pression ; il ne reste par suite qu'une pression maximum de 6^{cm} de mercure, pour assurer le mouvement de l'eau dans les conduits d'aspiration et effectuer la levée des clapets. Bien que la pompe alimentaire soit en contre-bas du réservoir d'eau douce dans le condenseur, cette pression est insuffisante, avec les dimensions actuelles du tuyau d'aspiration, pour assurer le fonctionnement complet de la pompe, l'eau étant toujours notablement en retard sur le piston. D'où la nécessité d'une injection d'eau froide par le tuyau 3, dans la chambre d'aspiration de la pompe à air. — On ne pourrait rémédier à ces inconvénients, la pompe alimentaire étant d'ailleurs en contre-bas du condenseur, qu'en donnant à la pompe et au tuyau d'aspiration, des dimensions largement proportionnées, et en faisant les clapets d'aspiration aussi légers que possible.

Boîte à clapets de pompe alimentaire, dernier type d'Indret. — La *fig.* 39 représente le type de boîte à clapets de pompe alimentaire appliquée par l'usine d'*Indret* aux machines du croiseur le *Rigault de Genouilly*. Cette boîte est entièrement construite en bronze ; les seules pièces de fer ou d'acier qu'on y rencontre appartiennent au système de chargement du clapet de trop-plein. Voici la légende de cette figure :

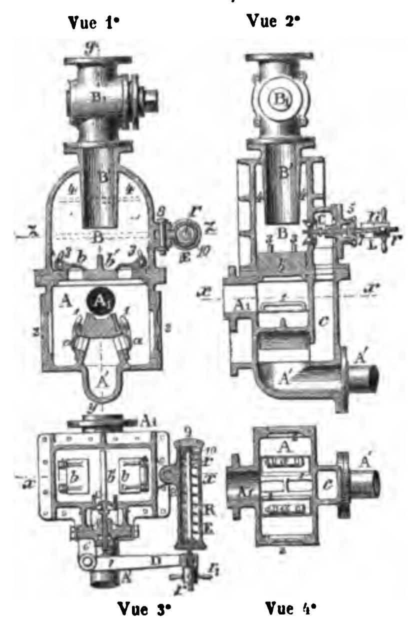
Vue 1° coupe verticale suivant *xx* de la *vue* 3°.
Vue 2° coupe verticale suivant *yy* de la *vue* 1°.

Vue 3° coupe horizontale suivant *zz* de la *vue* 1°.
Vue 4° coupe horizontale suivant *xx* de la *vue* 2°.

A compartiment des clapets d'aspiration.

a clapets d'aspiration à charnière, au nombre de deux. Le siége de ces clapets, venu de fonte avec la boîte A, est incliné; la butée des clapets se fait par l'appui des talons 1,1, sur le haut du siége.

Fig. 39. Boîte à clapets de pompe alimentaire. Échelle 1/30°.



A',A' tuyau et conduit d'aspiration communiquant avec la bâche à eau douce.

A_1 conduit sur lequel se raccorde le tuyau de communication de la pompe avec le compartiment d'aspiration A de la boîte à clapet.

B compartiment des clapets de refoulement et du clapet de trop-plein.

b,b' clapets de refoulement à charnière, et siége de ces clapets. Le siége *b'* est horizontal; il est rapporté entre les boîtes A et B. La butée des clapets *b* se fait par les talons 3,3, qui viennent s'appuyer contre la paroi de la boîte B.

B' conduit de refoulement aux chaudières. Ce conduit est terminé par une partie formant plongeur dans la boîte B, et constituant le réservoir d'air 4.

B_1 robinet obturateur du tuyau de refoulement B'.

C clapet de trop-plein, dont l'axe est horizontal. Ce clapet a la forme ordinaire; sa tige traverse un presse étoupe pratiqué sur la porte 5, pour être ensuite maintenue par le système D,E. Une petite embase ménagée sur la tige du clapet C limite sa levée.

c canal de communication du clapet de trop-plein avec le tuyau d'aspiration A'.

D levier faisant partie du système employé pour charger le clapet de trop-plein. Ce levier est articulé sur un montant 6 faisant corps avec la porte 5 de la boîte du clapet de trop-plein ; la tige de ce dernier clapet est munie d'un bout en acier, qui appuie sur une pièce de même métal 7, rapportée sur le levier D.

E boîte à ressort articulée sur une oreille 8 de la boîte B, et contenant le ressort R qui charge le clapet de trop-plein. Cette boîte n'est ouverte que d'un seul côté, et se ferme d'ailleurs au moyen d'un bouchon taraudé 9.

R ressort en hélice, s'appuyant sur le bout fermé de la boîte E, et étant comprimé à l'autre bout, par un piston 10 glissant librement dans cette boîte.

r tige taraudée d'une part, dans le piston 10, et traversant d'autre part, le fond de la boîte E, ainsi que l'extrémité du levier D.

r_1 écrou à croisillon taraudé sur le haut de la tige *r*, et au moyen duquel on donne au ressort R une tension convenable.

xx, *yy*, *zz* lignes de coupe.

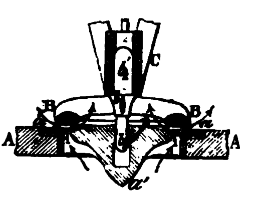
1 butoirs des clapets d'aspiration.
2 portes de visite des clapets d'aspiration.
3 butoirs des clapets de refoulement.
4 réservoir d'air.
5 porte du compartiment de trop-plein C.

6 **montant** sur lequel s'articule le levier D.
7 **grain en** acier pour servir d'appui à la tige du clapet de trop-plein.
8 **oreilles** servant de point d'attache à la boîte à ressort E.
9 **bouchon** fermant la boîte E.
10 **piston** comprimant le ressort R, lorsqu'on visse l'écrou à croisillon r_1.

Grâce au double jeu de clapets pour l'aspiration et le refoulement, on a pu diminuer la levée de chacun de ces clapets, ce qui leur a permis de retomber plus facilement sur leur siège. — Du côté de l'aspiration, les clapets s'ouvrent en sens contraires, et les veines d'eau qui traversent les sections démasquées ne se gênent pas l'une l'autre; il y a par suite une moins grande perte sur le volume engendré par le piston pendant l'aspiration. Une disposition semblable du côté du refoulement, ne présenterait aucun intérêt, aussi s'est-on contenté de faire les clapets horizontaux; une simple nervure du siège b', dirige les veines liquides vers le tuyau de refoulement.

Soupape annulaire pour refoulement de pompe alimentaire. — Dans les machines du *Friedland*, qui sont munies de condenseurs système *Joëssel*, type *Hugon* (n° 48_3), les pompes alimentaires aspirent au condenseur, et, outre les difficultés d'alimentation inhérentes à ce système, les clapets de refoulement ordinaires en bronze, faisaient un bruit considérable dès que l'allure dépassait 35 tours par minute. M. *Risbec*, ingénieur de la Marine, a imaginé de remplacer ces clapets par des soupapes annulaires, représentées par la *fig.* 40, dont voici la légende :

Fig. 40 Soupape annulaire pour refoulement de pompe alimentaire. — Echelle 1/12°.



A partie appartenant à la boîte à clapets.
a siège en bronze rapporté, portant en son milieu un énorme moyeu *a'*, qui ne laisse libre en dedans du siège, qu'un passage annulaire 1,1 ; ce moyeu est relié au siège *a* par quatre nervures.
B soupape annulaire reliée au moyeu *b* par quatre bras à section lenticulaire.
b_1 contre-tige de la soupape B, engagée dans un trou pratiqué sur le moyeu *a'*. Un petit canal 2 permet à l'eau de se dégager quand la soupape retombe sur son siège.
b'_1 tige de la soupape, engagée dans une gaîne centrale C, tenue par quatre bras et formant butoir.

Sur la figure, la soupape est soulevée; l'eau arrive dans la direction indiquée par les flèches sans barbe, et s'écoule de chaque coté de l'anneau qui forme la soupape. Cette disposition a permis, en augmentant la section de dégagement de l'eau, de diminuer notablement la levée du clapet. L'alimentation s'est faite d'une manière régulière, et le bruit a complètement disparu. On a aussi essayé des soupapes ordinaires dont les portages au siège et au butoir, étaient garnis de bois de gaïac; mais l'intensité des chocs n'était pas diminuée d'une manière sensible ; ces chocs étaient seulement sourds, et la couronne de portage du butoir s'encastrant dans le gaïac, laissait présager une très-courte durée du bon fonctionnement. Voici les données comparatives de ces deux genres de soupapes :

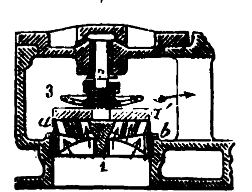
	Soupape annulaire.	Soupape pleine.
Diamètre extérieur ; partie cylindrique.	185^{mm}	185^{mm}
Levée de la soupape pour la section ci-dessous.	7^{mm}	18^{mm}
Section de passage de l'eau à travers la soupape. . . .	65$^{cm.c}$,22	104$^{cm.c}$,58
Section de passage pour une levée de 1^{mm}	9$^{cm.c}$,30	5$^{cm.c}$,80
Rapport des levées des clapets pour une égale section de passage de l'eau.	1	1,6
Section totale du passage à travers le siège.	65$^{cm.c}$,22	178$^{cm.c}$,88

Les soupapes annulaires sont bien supérieures à toutes les autres, et il serait à désirer que leur emploi fut généralisé. Elles présentent les avantages suivants :

1° La section de passage de l'eau, pour des levées égales des clapets est égale à 1,6 de la section de passage par une soupape ordinaire. Il en résulte une diminution très-sensible de la différence des pressions entre le corps de pompe et le tuyau de refoulement ; — 2° La surface soumise à la pression de l'eau est moins grande, d'où résulte une diminution de la force de projection au moment où la soupape se lève. — 3° Enfin, la forme même de la soupape, favorise l'écoulement de l'eau. — Ce genre de soupape, en raison de la faible levée qui lui est nécessaire, convient admirablement aux pompes qui fonctionnent à grande vitesse.

Clapet de pompe alimentaire des Forges et chantiers de la Méditerranée. — Sur les machines du *Tourville* (n° 31_2), l'usine des *Forges et chantiers de la Méditerranée* a adopté le genre de clapet de pompe alimentaire représenté par la *fig.* 41, et qui a donné de très-bons résultats. Il existe deux siéges : l'un *a* à grillage, pour le clapet en caoutchouc *a'*, l'autre *b* sur lequel repose le premier. Le siège *a* forme clapet sur *b* ; il est muni d'une contre-tige qui s'engage dans la gaîne centrale 1 du siège *b* ; sa tige 2 passe dans un guide, garni d'une douille en bronze, ménagé sur la porte de la boîte. Le butoir 3 du clapet en caoutchouc, est taraudé sur la tige 2 ; il est surmonté d'une rondelle en bronze, avec interposition d'une bague de caoutchouc, qui limite la levée du siège-clapet *a* en venant buter contre l'extrémité inférieure du guide de la tige 2. — Au refoulement, le clapet *a* se soulève d'abord ; puis le clapet en caoutchouc s'ouvre en se courbant sur son butoir. — Le bon fonctionnement résulte de la petite levée des clapets.

Fig. 41. Autre genre de clapet pour pompe alimentaire. — Échelle 1/15e.



Réchauffeurs de l'eau d'alimentation. — On a songé depuis longtemps, à utiliser, pour réchauffer l'eau d'alimentation avant son introduction dans la chaudière, une partie de la chaleur qui s'échappe, soit par la cheminée, soit par l'évacuation, soit par l'extraction. — Sur un grand nombre de machines fixes on emploie une espèce de serpentin logé à la base de la cheminée, en communication avec la chaudière, et dans lequel refoule la pompe ali-

mentaire. L'eau s'échauffe en empruntant aux gaz de la combustion une partie de leur chaleur, qui est ainsi utilisée sans que cela nuise d'une manière sensible au tirage. — D'autres fois, le serpentin est une capacité placée sur le conduit d'évacuation. Que cette évacuation se fasse dans un condenseur ou dans l'atmosphère, l'eau d'alimentation prend à la vapeur une partie de sa chaleur qui est par suite utilisée, et il n'en résulte aucun inconvénient pourvu que le tuyau d'évacuation ne soit pas étranglé. Pour les machines sans condensation, et dont l'orifice du tuyau d'évacuation est très-élevé, la capacité du réchauffeur dans laquelle passe la vapeur est munie d'un tuyau de purge, que l'on peut d'ailleurs faire aboutir dans le réservoir d'eau douce . — Enfin, on a essayé de construire des grilles creuses dans lesquelles circule l'eau d'alimentation avant de pénétrer dans la chaudière. Cette manière de faire ne fait rien gagner directement, puisque la chaleur prise par l'eau est empruntée au foyer ; mais elle a l'avantage de tenir la grille à une température relativement basse, et celle-ci échauffant beaucoup moins l'air qui passe dans les intervalles, cet air arrive plus dense sur le charbon, et la combustion est plus vive.

La *fig*. 19, *pl*. VIII, représente un réchauffeur de l'eau d'alimentation employé dans les machines à haute pression sans condensation, auquel est joint un désincrustateur pour débarrasser autant que possible, l'eau des impuretés qu'elle contient. Voici la légende de cette figure :

A corps de l'appareil ayant la forme d'un réfrigérant à canaux rectangulaires *e*, dans lesquels circule la vapeur de bas en haut, l'eau circulant en sens contraire et glissant sur la face extérieure des canaux. Fig. 19, Pl. VIII.

a arrivée de l'eau d'alimentation.

b réservoir désincrustateur contenant du coke en petits morceaux, ce dernier étant destiné à arrêter les matières terreuses que l'eau contient en suspension.

c réservoir d'alimentation dans lequel puise la pompe alimentaire. Ce réservoir est ouvert à l'air libre.

E débouché du tuyau d'évacuation des cylindres.

e canaux rectangulaires alternés, dans lesquels circule la vapeur d'évacuation, en effectuant plusieurs parcours de sens contraires. — A la partie inférieure se trouve un robinet de purge avec tuyau aboutissant au réservoir *b*. L'eau d'alimentation glisse sur la face supérieure de chacun des canaux *e*, dans le sens perpendiculaire au plan de la figure et en passant de l'un sur l'autre, depuis le sommet jusqu'à la base. — Cette eau s'échauffe ainsi en absorbant une partie du calorique emporté par la vapeur d'évacuation des cylindres.

E' tuyau amenant la vapeur d'évacuation dans l'atmosphère.

1 portes de visite des compartiments latéraux et des conduits rectangulaires dans lesquels la vapeur circule. Ces conduits ont besoin d'être nettoyés de temps à autre à cause des matières grasses qu'y dépose la vapeur.

2 couvercle du réservoir *c*. Ce couvercle est à charnière, sans joint étanche ; il permet de nettoyer facilement le réservoir d'alimentation *c*.

3 écran percé en crépine pour diviser l'eau à son entrée dans le désincrustateur.

4 coke en petits morceaux pour arrêter les matières terreuses amenées par l'eau. — Des portes latérales sur le réservoir *b*, permettent de changer ce coke quand besoin est.

Les réchauffeurs d'alimentation sont peu usités dans la marine ; toutefois on rencontre sur quelques bâtiments de commerce anglais, un appareil assez simple qui consiste en une lame d'eau en tôle, de forme ovale, logée dans la

botte à fumée. L'eau d'alimentation passe dans cette lame et s'y échauffe avant de pénétrer dans la chaudière.

N° 63_2 Crépine réglementaire pour pompe de cale. — Cette crépine est représentée par la *fig*. 16, *pl*. VII, dont voici la légende :

Fig. 16, Pl. VII.

A boîte de la crépine, en bronze et de forme rectangulaire.
A' couvercle de la boîte à crépine. Ce couvercle est maintenu en poste par quatre boulons à charnière 1, 1 ; il est surmonté en son milieu, d'une poignée 2 qui sert à le soulever. Le couvercle A' est muni d'un rebord saillant qui s'engage dans une rainure pratiquée sur tout le contour du bord supérieur de la boîte, qui, à cet effet, a été un peu renflé. Le fond de la gorge est garnie d'une bande de caoutchouc destinée à faire joint étanche.
a,*a'* deux cloisons verticales percées pour former crépine et partageant la boîte en trois compartiments. La cloison *a'* se trouve du côté du tuyau plongeur C qui va à la cale ; les trous pratiqués sur cette cloison sont moins nombreux que ceux qui sont pratiqués sur l'autre cloison *a*, mais leur diamètre est beaucoup plus grand que celui de ces derniers.
B tuyau de communication de la boîte A avec la boîte à clapets de la pompe de cale.
C tuyau plongeur faisant communiquer la boîte à crépine avec la cale et portant d'ailleurs à son extrémité, une crépine à larges trous pour arrêter les plus grosses escarbilles, ou autres objets qui peuvent être entraînés par l'eau.
3 robinet de vidange de la boîte à crépine.

Le nettoyage de la crépine s'effectue de la manière suivante. Les écrous à oreille des boulons 1,1 sont desserrés jusqu'à ce que ces boulons puissent être désemparés en tournant autour de leur genou ; puis le couvercle A' est enlevé. Toutes les parties de la boîte sont alors accessibles ; cette boîte peut par suite être nettoyée à fond. Le couvercle est ensuite remis en place, et la pompe fonctionne convenablement.

N° 63_3 Perfectionnements divers apportés à l'injecteur Giffard. — L'injecteur Giffard a été décrit au n° 162_3 du *Grand Traité*, et la théorie complète en est donnée au n° 7_{12}. — M. *Turck*, ingénieur des chemins de fer de l'Ouest, a apporté à cet appareil quelques modifications très-heureuses. La *fig*. 17, *pl*. VII, représente le Giffard tel que M. *Turck* l'a constitué. La légende adjointe à la *pl*. VII donne une description détaillée de l'instrument.

Fig. 17, Pl. VII. L'amorçage s'effectue en manœuvrant les poignées 1 et 2. L'aiguille *b* et la tuyère D étant complétement enfoncées, on les remonte peu à peu toutes les deux à la fois, et l'instrument s'amorce. On augmente l'alimentation en ouvrant davantage et simultanément le passage de la vapeur et celui de l'eau, ce qui s'obtient en agissant sur les poignées 1 et 2.

La modification apportée par M. *Turck* à l'injecteur Giffard, présente les avantages suivants :

1° **Facilité** de manœuvre et de mise en marche de l'instrument, résultant de ce que le levier 2 sur lequel on agit pour régler l'introduction de l'eau, est bien à portée de la main, et n'a pas besoin d'être brisé comme dans l'appareil primitif.

2° **Suppression** absolue des fuites de vapeur qui se produisent très-souvent sur le Giffard, au contact de la tuyère régulatrice de l'eau avec la partie cylindrique inférieure de l'instrument qui lui sert de guide.

3° **Isolement** complet de l'eau et de la vapeur jusqu'au moment où ces deux fluides viennent en contact. Ce résultat est obtenu au moyen de l'espace annulaire qui existe entre la tuyère fixe B et la tuyère mobile régulatrice de l'eau D. Or ce fait est très-important, car l'eau possède ainsi toute sa puissance de condensation, ce qui n'a pas lieu avec le Giffard primitif, et l'instrument fonctionne avec plus de régularité.

4° **Enfin** l'appareil perfectionné à une bien moins grande longueur que l'appareil Giffard; il est d'ailleurs beaucoup plus simple que ce dernier : il en résulte que la construction est moins dispendieuse et plus courante.

Injecteur automoteur de Willams Seller. — Cet injecteur est dit automoteur, parce que l'eau se règle d'elle-même, suivant la quantité de vapeur que l'on donne à l'instrument, et même suivant la variation de la dépense de vapeur par une ouverture donnée. Cet instrument est représenté par la *fig.* 18, *pl.* VII, et décrit dans la légende de cette planche.

Voici le mode de fonctionnement de cet instrument. La bâche étant placée au-dessus de l'injecteur, on ouvre le robinet de communication, et l'eau pénètre jusque dans la chambre D_1, et même dans le tube divergent. On ouvre alors la prise de vapeur, et on desserre l'aiguille *b*. L'eau est refoulée par la vapeur, l'instrument s'amorce et le clapet *e* se lève en même temps que le clapet *f* se ferme. Pendant le fonctionnement, il n'y a aucune communication de l'instrument avec l'atmosphère. Si l'aiguille *b* a d'abord été desserée d'une petite quantité, et que l'on veuille augmenter le débit, il faut naturellement donner plus de vapeur, ce qui se fait en tournant le volant 1, pour augmenter la section annulaire entre l'aiguille *b* et la tuyère B. La vapeur passant en plus grande quantité, donne à la veine liquide une plus grande vitesse, et celle-ci entraîne une partie de l'eau contenue dans la capacité D_1. La pression diminue progressivement dans cette capacité, devient inférieure à celle qu'exercent l'eau et l'atmosphère sur le piston *p*, et ce dernier avance, en augmentant la section annulaire du passage de l'eau entre les tuyères B et D, jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli, la capacité D_1 ayant la même pression que celle qui existe sur l'autre face du piston *p*. Un effet semblable se produirait s'il y avait une augmentation sensible de la pression de la vapeur. Fig. 18, Pl. VII.

Si l'on veut au contraire, diminuer le débit, il faut réduire la section du passage annulaire de la vapeur entre la tuyère B et l'aiguille *b*, en faisant tourner le volant 1. L'eau est alors en excès; l'instrument crache, et la pression augmente dans la capacité D_1. Cette pression finit par devenir supérieure à celle qui agit sur l'autre face du piston *p*, et ce piston marche, entraînant la tuyère D qui réduit le passage de l'eau. L'instrument se réamorce de lui-même.

Le giffard qui nous occupe est surtout employé utilement pour alimenter des chaudières qui ont une petite chambre à eau et une petite chambre à vapeur comparativement à leur surface de chauffe, et dans lesquelles les variations de pression sont par suite très-fréquentes et très-sensibles. Avec un injecteur ordinaire, il faudrait réamorcer et régler l'instrument à chaque variation de pression, tandis que celui-ci dispense de toute surveillance, pourvu que l'eau d'alimentation soit propre et qu'elle ne manque pas. Le courant de vapeur qui s'établit suivant l'axe de l'aiguille, assure le bon fonctionnement de l'instrument, car cette vapeur ne peut être condensée que par son contact direct avec l'eau.

On a trouvé par expérience, que le bon fonctionnement de l'instrument est assuré lorsque la section du tuyau de décharge ne dépasse pas une fois et demi la section du cône de vapeur. De cette façon, toute l'eau mise en mouvement par la veine de vapeur ne peut pas s'échapper par le tuyau de décharge, et la soupape *e* s'ouvre. En ce qui concerne le piston, on pouvait craindre que son fonctionnement fut gêné avec certaines eaux ; mais il paraît qu'au contraire, la seule difficulté consiste à empêcher que ce piston ne soit violemment projeté, surtout au moment où l'on ferme l'arrivée de vapeur ; car une variation de pression de la vapeur de 1/8e à 1/7e d'atmosphère suffit pour le mettre en marche. Il faut donc fermer lentement l'arrivée de la vapeur lorsqu'on veut stopper l'instrument.

N° 63_4 Siphons à vapeur pour exhaution ; et aérateur pour appareil distillatoire. — Le mode de fonctionnement des siphons à vapeur ou giffards-pompes a été expliqué au n° $7_{12\ et\ 13}$. Nous n'avons pas à y revenir. Nous rappellerons seulement que ces appareils ne sont pas économiques ; mais que pour de faibles hauteurs d'élévation, ils peuvent, sous un petit volume d'encombrement, enlever des quantités d'eau considérables, quand par ailleurs on dispose d'une quantité de vapeur suffisante. Ces appareils ne conviennent pas par suite, pour un service courant d'élévation d'eau ; mais ils sont extrêmement précieux pour les bâtiments, car ils permettent de faire face à une voie d'eau. — Voici les principaux types employés.

Siphon à vapeur pour canot. — L'emploi de ce siphon est réglementaire sur tous les canots a vapeur pour remplacer l'ancienne pompe à main destinée à vider la cale. Il est représenté par la *fig.* 19, *pl.* VII. Son fonctionnement est basé sur le principe du giffard.

Fig. 19, Pl. VII. — La tuyère B est vissée sur le corps de l'instrument ; son extrémité cylindrique est recourbée et reçoit au moyen du raccord 1, le tuyau A qui amène la vapeur de la chaudière. Ce tuyau est muni d'un robinet obturateur. — Le corps D de l'instrument forme la tuyère réglant le passage de l'eau ; il porte

une tubulure sur laquelle se monte au moyen du raccord 2, le tuyau d'aspiration C. Le tube divergent est monté à l'extrémité du siphon au moyen du raccord 3, et ce tube est prolongé par un tuyau cylindrique qui débouche au-dessus de la flottaison.

— Pour mettre l'appareil en marche, il suffit d'ouvrir le robinet placé sur le tuyau A. La vapeur sort à gueule-bée par l'extrémité de la tuyère B, et produit l'aspiration dans le tuyau C. L'eau s'élève dans ce tuyau, puis vient en contact avec la vapeur, et est entraînée par cette vapeur qu'elle condense. A moins que le canot n'ait une longue course à faire, ou qu'il n'y ait nécessité absolue, on ne fait fonctionner ce siphon que pendant les temps d'arrêt. On utilise ainsi la vapeur qui s'échapperait sans cela par la soupape de sûreté.

Siphon américain pour épuisement de cale. — Ce siphon n'est autre chose qu'un giffard pour exhaution; il est représenté par la *fig.* 20, *pl.* VIII.

La vapeur sèche fournie par une chaudière, arrive par le tuyau *a*, au centre d'une capacité sphérique A, et se projette dans l'axe d'un tube divergent *c*. Cette vapeur entraîne l'air qui remplit la capacité A, et produit une action aspirante dans les deux tuyaux *b*, dont les extrémités plongent dans la cale. Par suite de la raréfaction de l'air, l'eau s'élève dans les tuyaux *b*, atteint le jet de vapeur et le condense en recevant de lui une certaine force vive. La veine ainsi formée, s'élance dans le tube divergent *c*, passe dans le tuyau D et se déverse à la mer. Le robinet obturateur *d* placé sur le tuyau D, est fermé lorsque l'instrument ne fonctionne pas. Fig. 20, Pl. VIII.

L'appareil qui nous occupe est quelquefois installé pour servir de pompe à incendie. A cet effet, le tuyau de décharge D débouche sur le pont, et reçoit le raccordement d'une manche, que l'on fait déboucher à la mer, sans jet de lance s'il s'agit de vider la cale, mais que l'on munit d'une lance de projection si la pompe doit servir à combattre un incendie. D'autre part, un seul des tuyaux *b* plonge dans la cale; l'autre est une prise d'eau à la mer. Ces deux tuyaux sont munis de robinets obturateurs, et l'on prend directement l'eau à la mer en cas d'incendie.

L'installation du siphon pour le cas d'incendie peut être très-avantageuse; l'eau ne peut pas il est vrai, être élevée à de grandes hauteurs; mais il suffit qu'elle monte sur le pont pour qu'on puisse de là, envoyer une quantité considérable de liquide sur le foyer de l'incendie, quelle que soit sa position dans le bâtiment.

Ejecteur Friedmann pour épuisement de cale. — Cet appareil est un giffard-pompe destiné à élever une grande quantité d'eau à une faible hauteur; il est représenté par la *fig.* 21, *pl.* VIII.

La vapeur est amenée par le tuyau A et lancée par la tuyère *a*. L'eau prise à la cale à travers la crépine B, monte par le tuyau *b* dans le corps C du giffard. Ce dernier contient une série de cônes d'eau dont les diamètres intérieurs vont en augmentant; l'ensemble des petites bases de ces cônes forme l'amorce du Fig. 21, Pl. VIII.

tube divergent D. L'eau est expulsée par le tuyau E, muni, près de la muraille du bâtiment, d'un papillon de retenue *e* que l'on manœuvre par la poignée 1, et qui est maintenu fermé par le contrepoids 2.

La vapeur lancée par le tuyau *a*, est condensée par l'eau qui pénètre par le premier cône qui enveloppe le bout de cette tuyère, et lui communique une certaine force vive. La veine liquide ainsi formée, agit par entraînement sur l'eau qui remplit le deuxième cône, et lui communique une partie de sa vitesse. La nouvelle veine formée agit de même sur l'eau qui arrive par le troisième cône, et ainsi de suite, jusqu'à l'entrée du tube divergent D. — La vitesse de la veine liquide qui traverse l'ensemble des cônes d'eau, va donc en diminuant à mesure que la quantité d'eau mise en mouvement est plus grande; c'est pour cette raison que les diamètres intérieurs des cônes doivent aller en augmentant à mesure que l'on s'approche du tube divergent.

L'appareil fonctionne d'ailleurs d'après les principes exposés au n° 7_{13}. — Les cônes d'eau peuvent être plus ou moins nombreux suivant que la hauteur à laquelle l'eau doit être portée est moins ou plus grande. — Avec une section de sortie de la vapeur de 7$^{m.q.}$,55, cet appareil peut élever de 40^{tx} à 45^{tx} d'eau à l'heure, à une hauteur de 8^{m}, l'eau sortant à la température de 55° à 56°, sa température initiale étant de 16°. Le *La Galissonnière* possède un appareil de ce genre qui débite 250^{tx} à l'heure. Il est aussi employé sur quelques croiseurs.

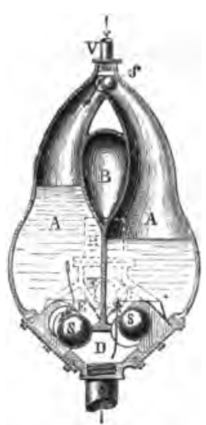
Pompe pulsomètre Hall pour épuisement de cale. — Cet appareil qui est représenté par la *fig.* 42, comporte deux chambres à cols recourbés A, A, que l'on nomme les corps de pompe, qui se réunissent à leur partie supérieure et à l'embranchement desquels s'ajuste le tuyau de vapeur V. — Sur l'arête du raccordement se trouve supportée une balle *s*, libre dans sa largeur et qui, suivant le côté où elle tombe, bouche l'un ou l'autre des deux cols. Ces derniers sont alternativement fermés et ouverts. Il en de même des fonds des chambres A, A, qui, au moyen de deux valves sphériques analogues S, S, sont mises, chacune à leur tour, en communication avec un même compartiment D où vient déboucher le tuyau d'aspiration à la cale. — Le tuyau de refoulement H est adapté à une autre ouverture rendue commune aux deux corps de pompes A, A, par la jonction de deux conduits E, E, dont la disposition est tout-à-fait semblable à celle des cols : en cet endroit, une balle-soupape F, livre passage à l'eau expulsée d'un côté et de l'autre successivement. — Enfin une certaine quantité d'air provenant d'une poire ou réservoir B, où l'on en règle l'introduction à l'aide d'un tube à soupape, vient agir comme coussin sur le liquide aspiré en D, qui sans cela, arriverait dans les deux chambres A, A avec trop de force, et produirait des coups de béliers.

Pour qu'elle puisse fonctionner, cette pompe doit être remplie d'eau au moment où l'on ouvre l'introduction de vapeur. La balle-soupape *s* fermant l'une des deux chambres, la vapeur se précipite dans l'autre et chasse le liquide dans le tuyau de décharge H, en produisant sur lui une forte agitation qui aide à condenser complètement cette vapeur. De cette façon, le vide s'établit instantanément et toutes les valves se renversent. Ce qui vient de se passer dans

une chambre recommence dans l'autre, de sorte qu'un jet d'eau continu afflue dans la pompe et l'évacue en lui imprimant seulement une légère secousse de pulsation. De là le nom de *pulsomètre* donné à cette pompe.

Cet appareil n'exige pour ainsi dire pas d'entretien, il fonctionne très-bien quand on n'a besoin d'élever l'eau qu'à des hauteurs moyennes. Mais il s'en faut que son fonctionnement soit économique. Malgré la présence de l'air, qui est d'ailleurs fortement agité par l'entrée brusque de la vapeur, il se produit une condensation considérable à chaque pulsation, ce qui augmente le poids de vapeur dépensée par kilogramme d'eau élevée. — Cet appareil ne peut être d'un emploi avantageux que si l'on dispose d'une grande quantité de vapeur, parce qu'il exige peu d'entretien et de réparations, et qu'il n'est presque pas sujet à l'usure. D'autre part, la boue et le sable ne gênent pas son fonctionnement.

Fig. 42. Pulsomètre Hall.



La forme bizarre des chambres à long col, a pour but de permettre à la vapeur de ne pas perdre tout d'un coup son effet utile au contact de l'eau, la surface de cette dernière ne se développant qu'au fur et à mesure de l'abaissement du niveau. Toutefois, en raison de leur plus grande conductibilité extérieure, l'action condensante des parois est bien plus énergique que celle de l'eau ; et à ce point de vue, il semble qu'il y aurait avantage à ce que les chambres A, A eussent une section horizontale très-grande et une hauteur très-faible. — A un autre point de vue, le pulsomètre *Hall* ne peut débiter que des quantités d'eau relativement restreintes, comparativement aux giffards, à moins d'avoir des dimensions considérables. Cela tient à son fonctionnement alternatif. Les giffards sont d'une construction plus simple et encore moins sujets à se déranger que l'appareil qui nous occupe.

Éjecteur d'escarbilles système Robertson. — Cet appareil qui est représenté par la *fig.* 22, *pl.* VIII, n'est encore autre chose qu'un giffard d'exhaution, destiné à rejetter directement les escarbilles à la mer. La vapeur est amenée par le tuyau A, et son abondance est réglée par le robinet *a*. Cette vapeur passe dans l'espace annulaire *b*, disposé comme l'orifice d'échappement de la vapeur d'un sifflet. Les génératrices extérieures sont convergentes, et le courant gazeux forme dans le tuyau B, un cône puissant d'aspiration au-dessous et de projection au-dessus. — Les escarbilles sont disposées dans l'entonnoir C, les mâchefers étant préalablement concassés, et de manière à laisser une toute petite ouverture au sommet de l'entrée du tuyau D ; ce dernier est fermé, au-dessous du giffard, par une vanne *d*. — Le robinet *a* étant ouvert, le courant de vapeur s'établit dans le tuyau B et dans le tuyau de décharge E, et l'aspiration de l'air se fait sentir à l'entrée du tuyau D, par la petite ouverture que les escarbilles laissent libre au-dessus de l'entonnoir ; la vanne *d* est alors ouverte et les escarbilles sont entraînées par la masse Fig. 22, Pl. VIII.

d'air appelée par le courant de vapeur. Ces escarbilles traversent l'appareil, sont prises directement par la vapeur en B, et lancées dans le tuyau d'échappement E, d'où elles sont déversées à la mer.

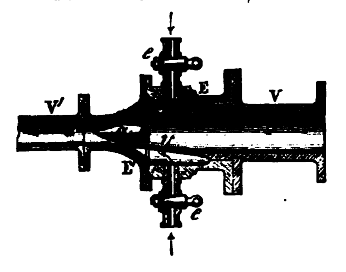
Cet appareil est d'un usage très-commode, mais il a l'inconvénient d'exiger une grande dépense de vapeur; d'autre part, il faut autant que possible éviter les coudes dans le tuyau E; autrement ce tuyau est bientôt percé par le frottement des mâchefers.

Fig. 20, Pl. VII. **Aérateurs pour appareil distillatoire.** — La *fig.* 20, *pl.* VII, représente un système d'aérateur pour condensateur qui est destiné à régler, en même temps que l'introduction de l'air, la quantité de vapeur à introduire dans l'appareil réfrigérant. L'appareil est en résumé, un simple siphon à vapeur destiné à entraîner de l'air. — La vapeur de la chaudière ou du distillateur arrive par le tuyau A, pénètre dans le corps de l'instrument, et s'écoule entre la tuyère B et l'extrémité formée en olive, de l'aiguille régulatrice *b*. Cette dernière se taraude dans le fond d'une boîte à étoupe et se manœuvre de l'extérieur au moyen d'une poignée montée sur son extrémité. — L'air est introduit par le robinet C, pénètre dans l'espace annulaire formé par la tuyère B et la tuyère extérieure D, cette dernière faisant corps avec l'instrument et portant à son extrémité, le tuyau dans lequel se précipite le mélange d'air et de vapeur. — L'appareil se règle comme un giffard, en agissant simultanément sur la tige *b* et sur le robinet C.

Si l'on veut donner à l'appareil toute sa puissance, c'est-à-dire condenser la plus grande quantité possible de vapeur, il faut que le robinet C soit ouvert en grand, puis que le passage de la vapeur soit démasqué de plus en plus, par la manœuvre de l'aiguille *b*, tant que l'on juge, au bruit strident que produit l'introduction de l'air, que la quantité de ce fluide qui est entraînée augmente. — L'emploi de l'aérateur qui nous occupe est surtout utile avec le distillateur *Sabattier*, dans lequel la vapeur est formée à une pression relativement faible.

Le bouchon taraudé 1 ferme un trou destiné à permettre de nettoyer au besoin la chambre à air de l'aérateur. Le joint glissant 2 est destiné à permettre aux tuyaux de s'allonger sous l'influence de la dilatation que produit leur échauffement, en facilitant d'ailleurs la mise en place ainsi que le démontage de l'aérateur.

Fig. 43. Aérateur Huin pour appareil distillatoire. — Échelle 1/12°.



La *fig.* 43 représente un genre d'aérateur employé avec succès par M. *Huin*, sur le *Japon*, dans le but de déterminer une pression d'air capable d'élever l'eau aussi haut que possible, eu égard à la pression de la vapeur. Après bien des essais, M. *Huin* a arrêté pour cet organe les proportions de la figure.

Le tuyau de vapeur V est prolongé par une partie conique très-amincie *v*, dans l'extrémité de laquelle se trouve une poire allongée *a*, tenue par quatre vis.

Entre la poire *a* et le cône *v*, est ménagé un passage annulaire pour la vapeur. — Sur un prolongement cylindrique du tuyau V, se monte la boîte E, sur laquelle sont les deux robinets d'introduction d'air *e*, *e*. A la suite de la boîte E, se monte un cône divergent E′, prolongé par le tuyau V′ qui aboutit au réfrigérant. Le cône divergent E′ est façonné de telle sorte que le passage de l'air ménagé entre ce cône et le cône *v*, soit annulaire, et de même section que celui du passage de la vapeur. Par cette disposition, l'effet d'entraînement de l'air par la vapeur est maximum pour une pression donnée de cette vapeur, et il en est de même de la pression que cet air détermine dans le réfrigérant.

N° 63_5 Réservoir d'air actuel des petits chevaux réglementaires. — Les modifications apportées à la boîte à clapets des petits chevaux réglementaires, ont fait disparaître les chocs qui se produisaient à chaque coup de piston. Ces chocs provenaient de ce que l'eau refoulée n'avait pas un dégagement suffisant, le réservoir d'air étant d'ailleurs d'un volume trop restreint. La *fig.* 21, *pl.* VII représente l'installation actuelle; voici la légende de cette figure :

A tuyau d'aspiration. Fig. 21.
A′ conduit de communication de la boîte à clapets avec la pompe. Pl. VII.
a clapet d'aspiration. Un croisillon faisant corps avec le siége du clapet de refoulement *b*, sert de guide à la tige du clapet d'aspiration en même temps que de butoir à ce clapet.
B tuyau de refoulement placé au bas du réservoir d'air R.
b clapet de refoulement, monté sur un siége rapporté et vissé dans la boîte. Un croisillon faisant corps avec le réservoir d'air sert de guide à la tige de ce clapet, et remplit en même temps l'office de butoir.
c clapet de trop-plein, maintenu sur son siége par l'action d'un ressort en hélice 1 ; ce dernier est maintenu entre deux traverses enfilées sur la tige du clapet et sur deux entretoises fixées à la boîte, parallèlement à cette tige. La traverse inférieure repose sur les embases de deux entretoises placées à côté du presse-étoupe ; ces embases ont assez de hauteur pour laisser au chapeau la liberté nécessaire ; la traverse supérieure est maintenue par un écrou taraudé sur l'extrémité de la tige. — Lorsque toute l'eau refoulée par la pompe ne peut pas pénétrer dans la chaudière, l'excédant agit par le canal 2, sur le clapet de trop-plein, le force à s'ouvrir et revient dans le tuyau d'aspiration par le canal 3.
n portion de bâti du petit cheval.
P_6 portion du corps de pompe du petit cheval. Le conduit de communication A′ est fixé sur ce corps de pompe au moyen d'une bride à oreilles serrée par trois boulons et un prisonnier, ce dernier étant taraudé dans le corps de pompe.
R réservoir d'air vissé sur l'extrémité de la boîte à clapets, et portant le croisillon qui sert de guide à la tige du clapet de refoulement et de butoir à ce clapet.
4 robinet de vidange de la boîte à clapets.

N° 63_6 Pompe à vapeur américaine de Leed et Learnd pour alimentation, exhaution et incendie. — Le système des pompes à vapeur *Leed* et *Learnd*, pour alimentation, exhaution et incendie est représenté par la *fig.* 22, *pl.* VII. La légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Fig. 22, Pl. VII.

L'appareil comprend deux cylindres moteurs, horizontaux, placés côte à côte, et dont les tiges de piston actionnent directement les pistons plongeurs de deux pompes à double effet, placées sur le prolongement des cylindres. Il n'existe pas d'arbre de couche; le tiroir de chaque cylindre à vapeur est conduit au moyen d'un système de leviers, par la tige du piston de l'autre cylindre. Ces systèmes de leviers sont placés entre les cylindres et les pompes. Il n'existe aucune autre transmission de mouvement; les corps de pompe sont par suite très-rapprochés des cylindres et l'appareil prend peu de place en longueur.

Le fonctionnement de la pompe *Leed* et *Learnd* se comprend aisément; mais il est un point sur lequel il importe d'appeler l'attention : les mouvements des pistons moteurs et des tiroirs de leurs cylindres. — Chaque tige de piston conduit, par l'intermédiaire des leviers dont il a été qnestion, le tiroir de l'autre cylindre. Les deux organes conjugués commencent et terminent leur course en même temps, et sont de plus, simultanément en un même point de leur parcours, la course du tiroir étant d'ailleurs convenablement réduite par la transmission de mouvement. — Les tiroirs n'ont pas de recouvrements, ce qui correspond à un angle de calage de 90 degrés; le tiroir doit par suite être à mi-course quand le piston correspondant est au point mort, et inversement. Ce résultat est obtenu en plaçant l'un des pistons moteurs au point mort et l'autre à demi course. Toutefois, comme les mouvements des pistons moteurs ne sont liés par aucune pièce matérielle, il peut arriver, pendant le fonctionnement, que les mouvements relatifs des deux pistons varient légèrement; mais l'écart ne peut être que très-faible, et doit d'ailleurs être bien vite corrigé. En effet, si l'un des pistons arrive au point mort avant le temps, ce piston ne pourra pas repartir avant que l'autre arrive à mi-course, car c'est seulement à ce moment que s'ouvriront les orifices d'introduction et d'évacuation. Si l'un des pistons se trouvait en retard, les orifices s'ouvriraient avant qu'il ait terminé sa course; ce piston rebrousserait chemin et se trouverait par suite en avance au point mort suivant, d'où il ne partirait qu'à l'arrivée à mi-course du piston de l'autre cylindre.

Dans une machine ordinaire, la manivelle limite la course du piston dans son cylindre, et l'empêche de venir butter contre le fond de cet organe. C'est pour remplacer, à ce point de vue, l'action de la manivelle, que les orifices d'évacuation o_1, o_1' (*vue* 5°), sont distincts des orifices d'introduction, et débouchent à une certaine distance du fond du cylindre. Le piston arrivant près de sa fin de course bouche l'orifice d'évacuation, et il y a compression de la vapeur emprisonnée dans le cylindre, depuis le piston jusqu'au tiroir qui bouche encore l'orifice d'introduction. La position de l'orifice d'évacuation o_1 ou o'_1, est déterminée pour que la vapeur comprimée atteigne une tension égale à celle qui existe dans la boîte à tiroir, avant que le piston vienne toucher le fond du cylindre. Ainsi, d'après la loi de Mariotte, la tension de la vapeur comprimée atteindrait huit atmosphères, le piston ayant encore 4 millimètres à parcourir pour venir toucher le fond du cylindre. Comme les machines ne fonctionnent qu'à cinq atmosphères de pression maximum, l'arrêt du piston est assuré sans chocs. — Bien qu'il ne puisse y avoir aucun inconvénient à ce qu'il en soit autrement, la garniture du piston est assez large pour ne jamais dépasser l'orifice d'éva-

cuation. — Dans le fonctionnement à bras, les deux pistons marchent en même temps.

N° 63_7 — Pompes centrifuges pour exhaution. — Moteur Brotherhood. — Les pompes centrifuges pour exhaution ne sont autres que celles que nous avons décrites au n° 51_4. Celles qui sont employées dans la marine sont généralement du système *Neut* et *Dumont*; elles sont mues par un moteur spécial qui les actionne directement et dont nous allons donner la description. — Ce moteur, du système *Brotherhood* et *Hardingham*, est représenté par la *fig.* 44 dont voici la légende :

Vue 1° élévation de face.
Vue 2° profil.
Vue 3° coupe suivant XX de la *vue* 4°.
Vue 4° coupe suivant YY de la *vue* 3°.
Vue 5° coupe suivant *yy* de la *vue* 4°.
Vue 6° coupe suivant *xx* de la *vue* 4°.

Ces trois dernières *vues* sont à une échelle une fois et demie plus grande que celle des trois premières.

A arbre de couche portant une seule manivelle rapportée M, munie d'un contrepoids M'. Cet arbre repose sur un palier très-allongé H, qui fait partie du bati, et sur la partie extérieure duquel se trouve le presse-étoupe 1.

B,B,B grandes bielles, au nombre de trois, une par cylindre, et agissant sur le même tourillon de manivelle *m*. Ces bielles fonctionnent comme celles des machines à fourreau.

b,b,b coussinets fondus avec les têtes de bielle et embrassant le tourillon *m*. Ces coussinets sont coupés en forme de secteurs, et laissent entre eux le jeu nécessaire pour l'oscillation des bielles. Ils sont reliés par les colliers 2, qui empêchent les têtes de bielle d'abandonner le tourillon *m* lorsqu'on vire la machine à froid.

C,C,C cylindres à simple effet, ayant leurs axes dans le même plan et calés à 120° l'un par rapport à l'autre. Ces cylindres sont d'un même jet de fonte et forment un seul bloc qui se boulonne par une collerette 3 parallèle au plan des axes, avec le bâti H; ce bloc se boulonne par une deuxième collerette 4 parallèle à la première, sur le bâti O qui forme la boîte à tiroir.

D tiroir cylindrique, à mouvement de rotation continue, partagé en deux compartiments par la cloison oblique 5; l'un des compartiments I, sert pour l'introduction et l'autre E, pour l'évacuation.

E conduit d'évacuation du tiroir commun aux trois cylindres.

E' capacité comprise entre les trois cylindres et les bâtis H et O. Cette capacité communique directement avec le haut des cylindres, et avec l'atmosphère par le conduit E''.

E'' conduit de communication de la capacité E' avec l'atmosphère.

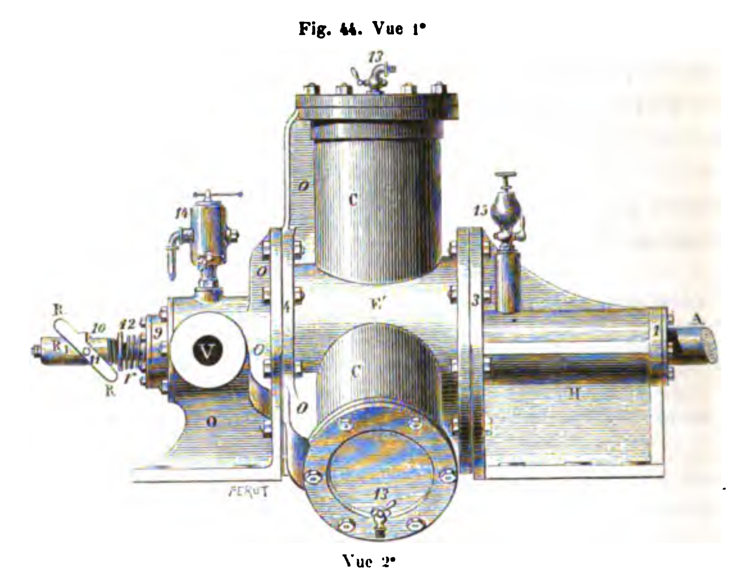
G,G,G coussinets de pied de bielle, fondus dans les pistons et ajustés pour recevoir les pieds de bielle qui ont la forme d'un T. Les petites plaques 6 empêchent ces pieds de bielle de sortir de leurs coussinets.

H bâti formant palier de l'arbre de couche. Ce palier est d'un seul morceau, et l'arbre repose sur un long coussinet en bronze dont la partie de droite forme le fond de la boîte du presse-étoupe 1.

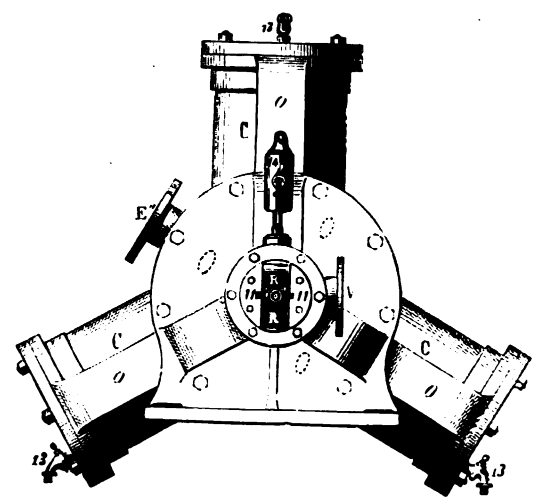
I côté d'introduction du tiroir D.

K manivelle montée sur l'extrémité E du tiroir D, et lui transmettant le mouvement de rotation qu'elle reçoit du petit tourillon *m'*, qui prolonge le tourillon *m*. Ce tourillon *m'* est tout simplement engagé dans une entaille de la manivelle K. Celle-ci est fixée sur le conduit E par la clavette 7, qui est tenue par un bout

Fig. 44. Vue 1°



Vue 2°



rivé, et qui est mise en place avant de monter la manivelle K. D'autre part, la manivelle est tenue appliquée contre la partie saillante du massif O, par le collier en deux parties 8.

L partie rapportée avec taraudage, à l'extrémité du tiroir D, et fixée par des vis qui traversent une collerette, de manière à participer du mouvement de rota-

tion du tiroir. La pièce L est prolongée par trois parties cylindriques dont les

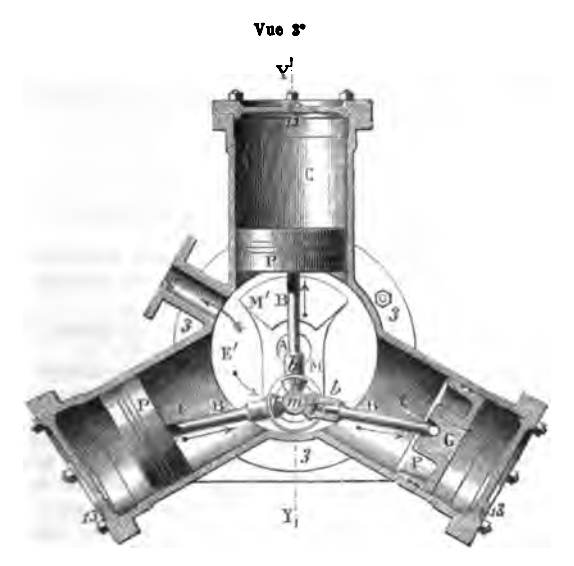
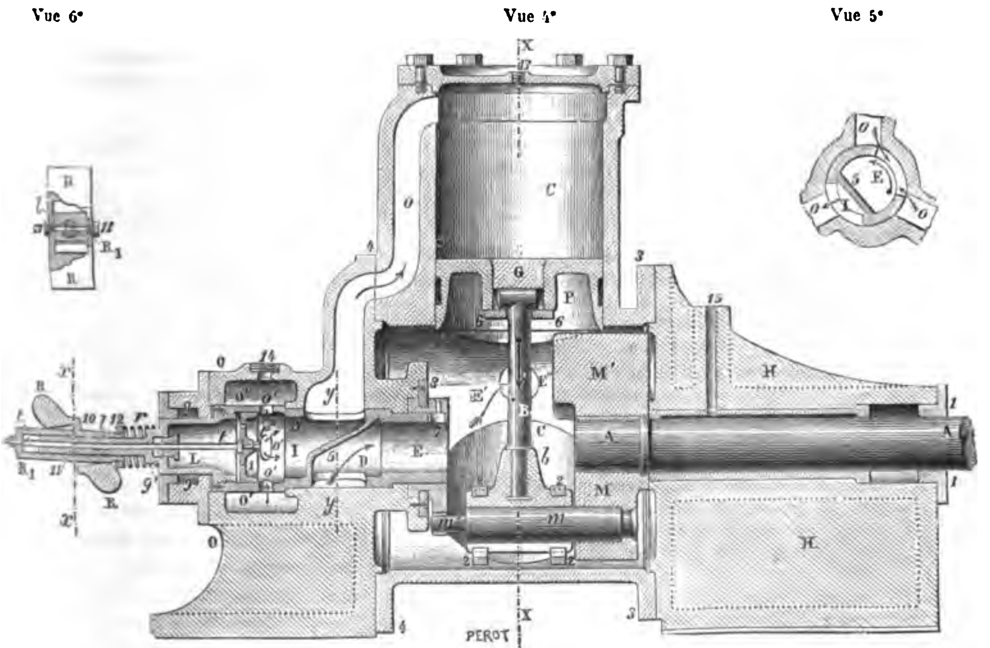


Fig. 44. Machine à vapeur à trois cylindres à simple effet, système Brotherhood, pour pompe centrifuge — Des moteurs du même système peuvent être affectés à un service quelconque.



diamètres vont en diminuant · La première traverse le presse-étoupe 9; la

seconde sert de guide au ressort à boudin *r*; la troisième est très-allongée et reçoit le manchon R_1 du régulateur R.

M manivelle unique de l'arbre de couche.

m tourillon de la manivelle, rapporté et rivé. Ce tourillon a une grande longueur, afin de compenser sur cette dimension, l'étendue de surface qui manque aux coussinet *b*, dans le sens de la circonférence.

m' prolongement, sur un petit diamètre, du tourillon *m*, pour conduire la manivelle K qui donne le mouvement au distributeur D.

O bâti formant la boîte à tiroir.

o,o,o orifices des cylindres.

O' canal annulaire dans lequel débouche le tuyau de vapeur V.

o',o'... orifices pratiqués sur le tiroir D, et par lesquels la vapeur passe du canal O' dans ce tiroir.

P,P,P pistons à vapeur à simple effet, rendus étanches contre les parois des cylindres par deux simples bagues dans le genre des garnitures suédoises. Comme ces pistons n'ont pas de guides, on les a fait relativement très-longs.

p piston-vanne mu par le régulateur R, et réglant la distribution de vapeur pour une allure déterminée en obturant plus ou moins les orifices *o',o',o',o'*.

R,R_1,*r* ensemble du régulateur à force centrifuge. Le piston-vanne *p* est prolongé par une tige cylindrique *t*, qui traverse le presse-étoupe à vis 9 pratiqué sur l'extrémité de la pièce L. Cette tige se prolonge à l'extérieur, traverse la partie *l*, et vient se fixer à demeure sur le manchon R_1. Celui-ci est capelé à frottement doux sur la partie cylindrique *l*; il porte un talon 10 sur lequel pousse la masse R soumise à l'action de la force centrifuge. Cette masse R est montée sur le manchon intérieur *l* au moyen des vis à tourillon 11, et le manchon R, porte, de chaque côté, deux rainures allongées qui lui permettent de se déplacer suivant l'axe, sans forcer sur les vis. Le manchon R_1 est repoussé par le ressort *r*, dont on règle la tension au moyen de l'écrou 12. La force centrifuge tend à placer la masse R dans une position perpendiculaire à l'axe de rotation; dans son déplacement, cette masse pousse sur le talon 10 et comprime le ressort *r* qui équilibre la force centrifuge. Les mouvements du manchon R, sont transmis à la tige *t*, et par suite au piston-vanne *p* qui obture plus ou moins les orifices *o'*.

t tige du piston-vanne *p*.

V tuyau d'arrivée de vapeur dans la boîte O', et de là, par les orifices *o'*, dans le compartiment I du tiroir D.

1 presse-étoupe de l'arbre.

2 colliers en fer pour empêcher les coussinets *b* de désemparer quand on vire à froid.

3,4 collerettes d'attache des cylindres aux bâtis.

5 cloison oblique du distributeur, isolant l'évacuation de l'introduction.

6 cales de retenue des pieds de bielle lorsqu'on vire à froid.

7 clavettes fixant la manivelle K sur l'extrémité E du distributeur.

8 collier en deux parties, empêchant la manivelle K de glisser.

9,9' presse-étoupe du régulateur.

10 talon par l'intermédiaire duquel la masse R actionne le manchon R_1.

11,11 vis à tourillon fixant la masse R sur le fourreau *l*; des rainures pratiquées sur le manchon R_1, pour recevoir les vis 11,11, permettent à ce manchon de glisser sur le fourreau *l*.

12 écrou de réglage de la tension du ressort *r*.

13 robinets de purge des cylindres.

14 graisseur *impermêator* (n° 53_4).

15 lumière de graissage du palier H de l'arbre.

Voici quelques explications complémentaires :

La machine à vapeur se compose de trois cylindres C, également espacés sur le contour d'un tambour cylindrique E' qui les réunit, le tout fondu en une

seule pièce. Les axes des trois cylindres, qui sont dans un même plan perpendiculaire à l'axe de l'arbre A, convergent sur celui-ci et forment entre eux des angles égaux à 120°. Dans chacun des cylindres se meut un piston P sur lequel la vapeur agit exclusivement par derrière, pour le pousser vers la manivelle unique M de l'arbre; ce piston n'a pas de tige, mais agit sur la manivelle par l'intermédiaire d'une simple bielle B analogue à celle du piston d'une machine à fourreau. Ainsi la manivelle est constamment poussée par les bielles des pistons derrière lesquels la vapeur est introduite, et repousse au contraire vers le fond des cylindres ouverts à l'évacuation, les bielles des pistons correspondants. Enfin, de part et d'autre de la manivelle de l'arbre, l'espace cylindrique compris entre les trois cylindres est fermé par un couvercle que l'arbre traverse en son centre, de sorte que toutes les pièces mobiles de la machine sont complétement enveloppées et protégées contre les chocs, contre l'introduction du sable et de la poussière, en un mot contre les accidents de toute nature.

Comme les pistons sont au nombre de trois, il n'y a pas de points morts et la machine peut être mise en marche dans toutes les positions. Le mouvement est d'ailleurs parfaitement régulier et uniforme, et l'emploi d'un volant est tout à fait inutile, sauf dans certains cas spéciaux. Les bielles agissant toujours et exclusivement par pression, il ne peut jamais y avoir de jeu entre elles et les pistons, quel que soit l'état d'usure de la machine et quelle que soit aussi la vitesse à laquelle elle est lancée ; il ne saurait donc jamais s'y produire de chocs aux extrémités de la course de chaque piston, ainsi que cela a lieu si fréquemment dans les machines des autres systèmes lorsqu'elles sont vieilles ou mal entretenues.

Le moteur Brotherhood fonctionne en effet presque sans bruit. Des machines de cette espèce sont toujours essayées à vide, sans aucun travail à faire. On les lance à des vitesses de 2,000 tours par minute, et cela si régulièrement que l'on n'entend guère d'autre bruit que le souffle régulier de la vapeur débouchant à l'air libre par le tuyau d'évacuation. Les réactions supportées par l'ensemble de l'appareil sont si régulières et si symétriques, que les machines ainsi essayées sont simplement posées sur le sol, et n'éprouvent qu'un très-léger tremblement dont les vibrations sont à peine sensibles à l'œil.

Les pistons P, sont de simples godets en fonte dont la hauteur est assez grande pour qu'ils n'aient pas besoin de guides; leurs garnitures sont formées de deux bagues en acier, croisées et logées côte à côte dans la même rainure. Chaque piston porte une crapaudine en bronze phosphoreux dur, rivée en son centre et sur le fond arrondi de laquelle vient porter l'extrémité également arrondie en rotule de la bielle correspondante. — Les trois bielles B sont des tiges en acier forgé dont les extrémités du côté du piston sont convenablement trempées. Ces bielles étant placées dans un moule de manière à former trois rayons convergeant vers un même centre et faisant entre eux des angles égaux, l'on coule sur leurs extrémités du côté de la manivelle, un disque en bronze phosphoreux dur qui les réunit momentanément; ce n'est que lorsque ce disque a été tourné et percé au diamètre du tourillon de la manivelle qu'on le sépare en trois pièces *b*, à chacune desquelles reste attachée l'une des bielles, en ayant soin de laisser entre elles le jeu nécessaire pour qu'elles ne viennent ja-

mais se rencontrer dans leurs mouvements angulaires autour de la manivelle, sur laquelle elles doivent toujours rester appuyées. Les trois bielles sont réunies autour de l'arbre par deux anneaux en acier 2, qui n'ont d'autre effort à faire que de supporter le poids des bielles quand elles ne sont pas appuyées sur la manivelle, ce qui a lieu quand on vire à froid.

L'arbre A est en acier et la soie *m* de la manivelle est trempée au degré convenable. L'extrémité de l'arbre porte un bouton *m'* qui conduit un tiroir tournant cylindrique, dont le diamètre est aussi réduit que possible, afin que le frottement des surfaces en contact se fasse avec une vitesse très-faible. Ce tiroir porte deux orifices, l'un pour l'admission, l'autre pour l'évacuation, qui viennent se présenter successivement en face des conduits de vapeur de chacun des trois cylindres. A ce tiroir unique, servant à la fois pour les trois cylindres, est joint un second tube concentrique permettant de fermer plus ou moins l'orifice d'admission à l'aide d'un levier à main, et d'agir ainsi sur la machine de la même manière qu'on agit sur une machine ordinaire en étranglant la valve. Au lieu de manœuvrer ce second tube au moyen d'un levier, l'on peut encore, comme sur le type de la *fig.* 44, y adapter un régulateur à force centrifuge qui manœuvre la valve automatiquement. En manœuvrant un doigt se mouvant dans une rainure héliçoïdale, ce régulateur peut à volonté réduire l'orifice de cette valve ou changer son calage, de manière à produire une véritable détente ou un changement de marche. Dans les machines de M. *Brotherhood* ainsi pourvues d'un appareil de détente variable, l'introduction dans les cylindres peut varier depuis zéro jusqu'au deux tiers de la durée de la course du piston vers l'arbre.

La masse des pièces mobiles étant relativement très-peu considérable, les forces d'inertie ont très-peu d'importance et la machine mise en marche acquiert très-promptement sa vitesse de régime; de même, lorsqu'on ferme l'orifice d'admission, elle s'arrête presque instantanément.

Cette qualité est précieuse lorsque le travail que la machine doit faire et les résistances qu'elle doit vaincre sont à peu près constants; ce serait, au contraire, un inconvénient, au point de vue de l'emploi économique de la vapeur, pour les cas où le travail à faire serait intermittent; mais il est facile d'y remédier, en ajoutant à la machine un volant d'une masse aussi grande qu'on peut le juger nécessaire.

La vitesse considérable à laquelle les machines *Brotherhood* peuvent fonctionner régulièrement, permet d'atteindre de grandes puissances avec des dimensions relativement très-modérées; elle permet aussi de les atteler directement à des pompes rotatives ou centrifuges et à des ventilateurs, etc.

Enfin, la petitesse relative des machines de ce système, jointe à l'extrême simplicité de leurs différentes pièces, rend leur construction moins coûteuse que celle des machines ordinaires.

Les machines à trois cylindres à vapeur peuvent être construites pour résister à des pressions très-variables, depuis 2 jusqu'à 10 et 12 *Kg* par *Cm.c*; elles peuvent aussi être lancées à des viteses presque indéfinies sans qu'il en résulte aucun inconvénient pour leurs différentes pièces; aussi leur puissance peut-elle varier dans des limites fort étendues, et doit-on, pour donner à cet égard une indication bien précise, faire certaines hypothèses. La force en

chevaux, des modèles ordinaires de MM. *Brotherhood* et *Hardingham*, est évaluée par la formule :

$$F^{ch} = 3\frac{SCNP}{75};$$

dans laquelle on représente par :

S la surface d'un piston en centimètres carrés.
C la course d'un piston en mètre.
N le nombre de tours de l'arbre par minute.
P l'effort effectif sur les pistons, en kilog. par cm. c.

Les machines à trois cylindres, du système *Brotherhood*, sont aussi satisfaisantes, comme moteurs à eau comprimée, que comme machines à vapeur ; mais elles répondent naturellement à des besoins bien différents. Ainsi les machines à vapeur doivent être préférées dans tous les cas où l'on veut obtenir une grande vitesse avec une pression modérée. Les machines à eau comprimée conviennent parfaitement, au contraire, pour les appareils qui tournent lentement et ont beaucoup de force à faire.

La construction des machines à eau comprimée diffère nécessairement dans les détails de celle des machines à vapeur ; mais la disposition générale en est exactement la même. Dans les machines à eau, les épaisseurs des cylindres et de toutes les enveloppes, ainsi que les dimensions de toutes les pièces mobiles, sont calculées en vue des pressions plus considérables qu'elles ont à supporter. Les joints des tiroirs sont rendus étanches au moyen de rondelles en cuir, et les garnitures des pistons, au lieu d'être composées, comme dans les machines à vapeur, de deux ressorts en acier placés côte à côte et en sens contraires dans les mêmes rainures, sont formées de couronnes de cuir embouti comme celles dont on fait usage dans les appareils hydrauliques.

La vitesse de rotation des machines hydrauliques est ordinairement réglée de telle sorte que la vitesse linéaire moyenne des pistons soit d'environ 21 mètres par minute, et les constructeurs estiment qu'il ne conviendrait pas que cette vitesse dépassât de beaucoup 30 mètres par minute. La puissance de ces machines se calcule par la même formule que ci-dessus, employée pour les machines à vapeur. M. *Brotherhood* estime que ses machines hydrauliques ont un rendement de 0,85, tandis que celui des machines à vapeur est seulement de 0,75.

N° 64. — 1. Des machines rotatives en général. — 2. Considérations générales sur la rotative américaine Behrens. — 3. Type de rotative Behrens pour appareil d'épuisement de cale. — 4. Type de rotative Behrens pour petit cheval.

N° 64_1 Des machines rotatives en général. — La question des machines rotatives comporte la solution d'un problème de mécanique appliquée qui a exercé la sagacité des mécaniciens les plus distingués, et qui n'a souvent abouti qu'à des insuccès. Dans ces machines, tout organe de transmission de mouvement du piston à l'arbre de couche est supprimé ; l'organe sur lequel

la vapeur agit tourne en même temps que l'arbre. — Les machines rotatives offrent, sur les machines ordinaires, une série d'avantages qui peuvent être résumés comme suit :

1° L'organe moteur communiquant directement à l'arbre de couche son mouvement de rotation, les tiges de piston, les bielles, les manivelles, etc., disparaissent au bénéfice de la simplification du mécanisme.

2° Comme conséquence du 1° ci-dessus, il y a une diminution considérable du travail absorbé par les frottements.

3° Le mouvement des rotatives, au lieu d'être alternatif, est continu. Elles sont donc aptes à éviter les pertes de forces vives et la désagrégation moléculaire qui proviennent, dans les machines ordinaires, du changement incessant de vitesse des pistons et de tous les organes de transmission de mouvement, et surtout du renversement de marche de ces organes à chaque bout de course.

4° En conjuguant ensemble plusieurs rotatives, on peut, bien plus facilement que dans les machines ordinaires, combiner les positions relatives des organes moteurs de manière à obtenir une certaine constance du couple de rotation (n° 71_1). Il en résulte une nouvelle diminution des pertes de forces vives de même nature que celles dont nous venons de parler en 3°, et qui sont d'autant plus marquées que le couple moteur de rotation est plus variable.

5° Les réactions, qui dans les machines ordinaires ont une grande influence sur la stabilité des appareils, sont presque nulles dans les rotatives. Ces machines se prêtent par conséquent à la suppression presque complète des vibrations et oscillations des pièces d'assises, bâtis, cylindres, etc. Or cette suppression, outre son avantage propre, offre incidemment celui de restreindre les pertes de forces vives.

N° 64_2 Considérations générales sur la rotative américaine Behrens. — Les avantages notables que nous venons d'énumérer ont été pressentis dès la création même de la machine à vapeur moderne. C'est ce qui explique pourquoi le problème des rotatives a suscité tant de chercheurs.

Le nombre de solutions qui ont été proposées est considérable. *Watt* en a imaginé plusieurs dès 1783. Après lui, parmi les plus sérieux, sont venus *Murdock* (1799), *Joseph Ève* (1825), plus récemment *Peter Borie*, *Yule*, *Galloway*, et enfin dans ces dernières années *Bishop* et *Rennie* avec leur *disc-engine*.

Jusqu'ici toutes les machines rotatives, généralement très-compliquées, ont présenté des fuites, des usures et des chances de dérangement telles que leurs règnes ont été très-éphémères. Dans la machine *Behrens*, tout y présente un caractère de simplicité vraiment séduisant ; et, si les pièces demandent une grande perfection d'ajustage, les machines-outils actuelles permettent de la réaliser sans peine. Aussi, la Marine n'a pas tardé à remarquer les avantages de toutes sortes que présente la nouvelle rotative sur les petits chevaux ordinaires, qui, à tous les points de vue, sont de mauvais appareils.

La rotative Behrens n'est encore qu'à son début ; et, jusqu'à présent, son application s'est presque exclusivement bornée à l'usage de pompe à vapeur. Son rendement *calorifique* (n° 5_2), semblable en cela à celui des petits chevaux,

tout en lui étant supérieur, laisse beaucoup à désirer, et paralyse en partie l'influence de la supériorité de son rendement *organique* (n° 5_3). Mais on peut heureusement remédier à cet état de choses; car il suffit d'employer de la vapeur à bonne pression, sèche ou légèrement surchauffée, d'entourer les cylindres de chemises de vapeur, et surtout de faire usage de grandes détentes, obtenues de préférence avec le système Woolf. Une grande détente est surtout nécessaire pour atténuer l'influence de la grandeur des espaces neutres (n° 65_4).

N° 64_3 Type de rotative Behrens pour appareil d'épuisement de cale. — Un des types les plus remarquables de ce genre de machine est celui qui a été installé sur le *Solférino* et qui est représenté par la *fig.* 45.

Cet appareil se compose d'une machine rotative à deux cylindres, donnant le mouvement à une pompe de cale pareillement rotative. Celle-ci est capable d'élever par heure 1.800$^{m.cub}$ d'eau à 10^m de hauteur, pour une vitesse de rotation de 200 tours par minute, et avec une pression de la vapeur de 3^{at} absolues environ. Le poids total du système est de 8.000^{kg}. Cette machine a été construite par M. *Petau*, mécanicien à Paris, concessionnaire du brevet. Voici la légende de la *fig.* 45 :

A, B compartiments en fonte de fer dont l'ensemble forme le premier cylindre à vapeur de la machine. — Ce cylindre a son axe horizontal. Il a pour section deux portions de cercle, au lieu d'un cercle unique, comme dans les machines ordinaires; ces deux portions de cercle ont leur distance des centres égale environ aux deux tiers du diamètre de chacune d'elles. — Le fond, venu de fonte avec le corps du cylindre, porte deux douilles très-solides, dont l'objet est expliqué plus loin.

A', B' compartiments dont l'ensemble forme le second cylindre à vapeur.

A'' chemise en tôle emprisonnant une couche d'air autour des cylindres à vapeur, de façon à prévenir les refroidissements extérieurs. Cette chemise a été enlevée dans les *vues* 2° et 3°, afin de ne rien cacher.

C massif en fonte servant à la fois de plaque de fondation et de bâti, et reliant rigidement entre elles toutes les pièces fixes de l'appareil.

D came ou piston supérieur du cylindre AB. Cette pièce est décrite en détail ci-après. Elle est en fonte de fer, et présente deux profils, sur l'un desquels s'exerce l'action de la vapeur pour entraîner l'arbre F.

E came ou piston inférieur du cylindre AB donnant le mouvement à l'arbre G.

D', E' cames du cylindre A' B'.

F arbre en acier sur lequel sont clavetées les cames à vapeur D et D', ainsi que la came supérieure S de la pompe.

G deuxième arbre pareillement en acier sur lequel sont clavetées les cames à vapeur E, E', ainsi que la came inférieure T de la pompe. Cet arbre est conjugué avec le précédent à l'aide d'un engrenage M, N.

H couvercle du cylindre AB.

I, I presse-étoupe.

J couvercle du cylindre A' B'.

K conduit d'introduction de la vapeur.

L conduit d'évacuation.

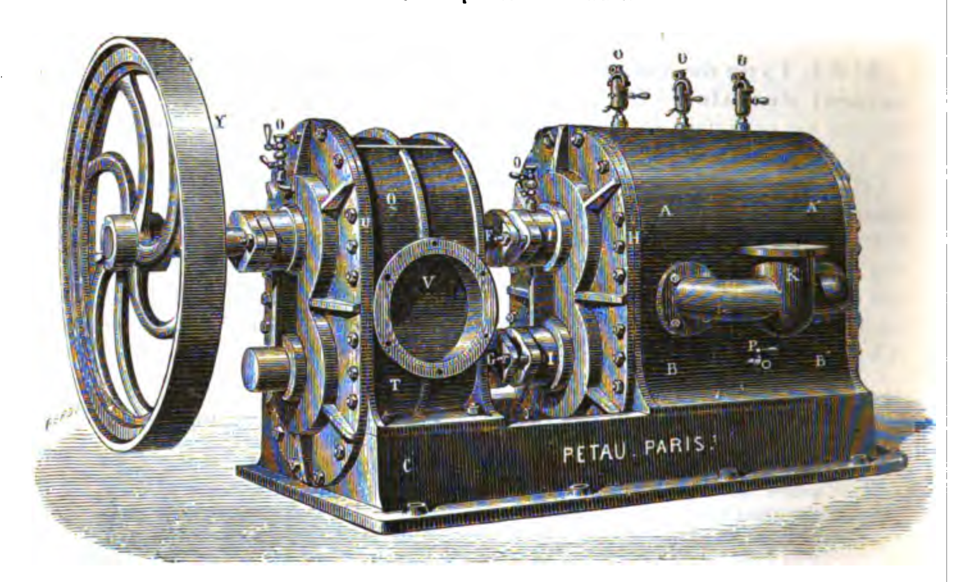
M, N roues dentées d'égal rayon, conjuguant ensemble les arbres F et G, et, par suite les cames D et E, D' et E' d'un même cylindre. Ces roues sont engrenées entre elles de manière à placer l'une par rapport à l'autre, les cames du même cylindre dans la position indiquée *vue* 5°, et à établir dès lors, pendant le reste

de la rotation, entre les mouvements de ces cames, la corrélation parfaite expliquée dans le n° 65_1.

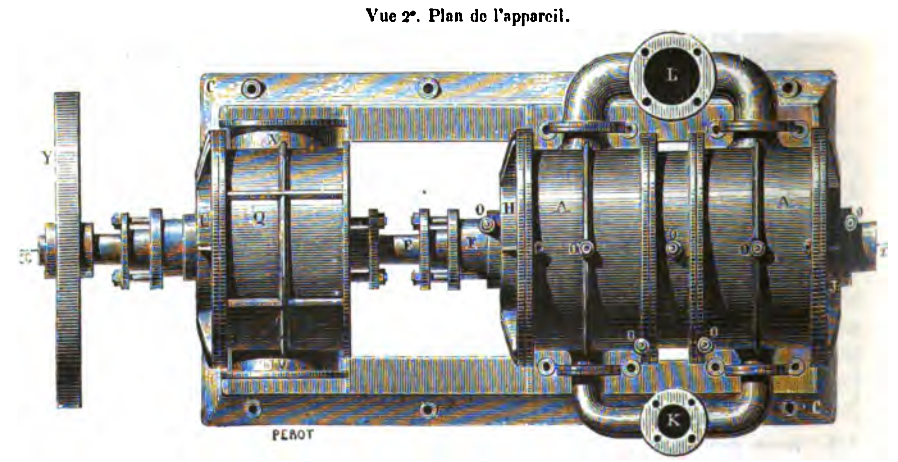
O, O,... graisseurs divers destinés à lubrifier toutes les parties frottantes. Pour parfaire

Fig. 45. Rotative Behrens servant d'appareil d'épuisement de cale du vaisseau le *Solférino*.
Échelle 1/30°.

Vue 1°. Perspective de la Rotative.



Vue 2°. Plan de l'appareil.



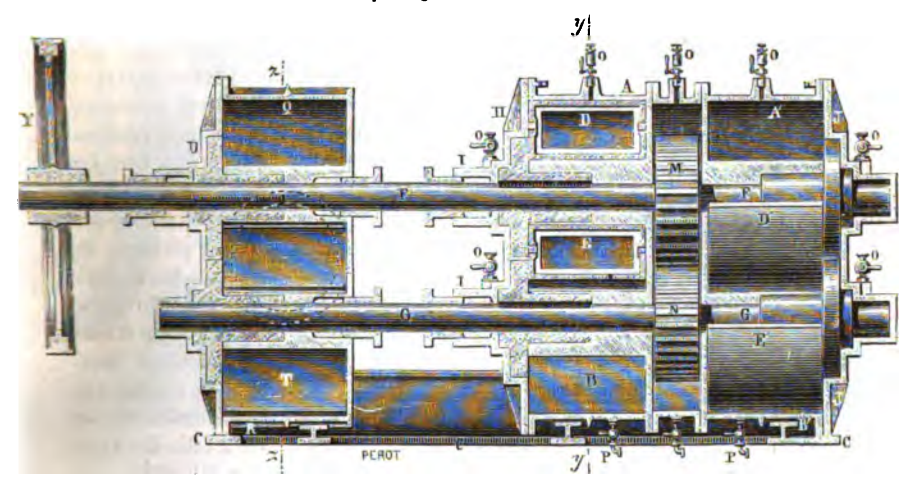
le lubrifiage et en même temps pour assurer une étanchéité complète entre le grand disque *d' fig.* 46, de chaque came et le couvercle correspondant de cylindre, on a ménagé dans le dos de ce disque, des pattes d'araignée qui permettent

à l'huile d'affluer et de s'étaler entre les deux surfaces frottantes pour former une espèce de garniture hydraulique.

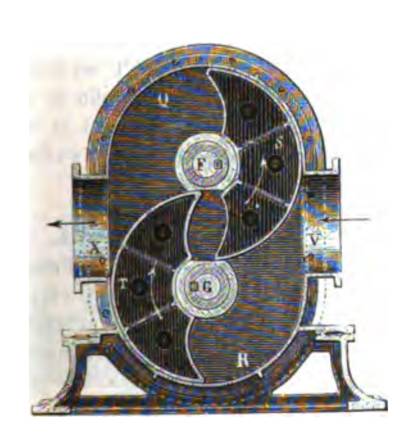
P, P,... robinets purgeurs.
Q, R compartiments en bronze dont l'ensemble forme le corps de la pompe.

Fig. 45. (Suite.)

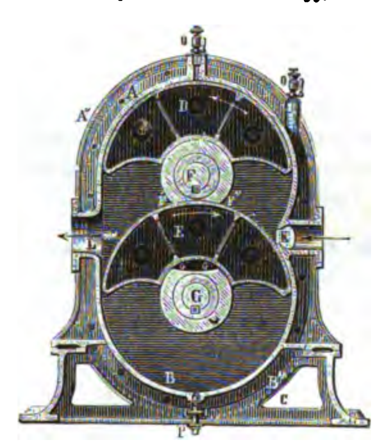
Vue 3°. Coupe longitudinale suivant *xx*, *vue* 2°.



Vue 4°. Coupe transversale suivant *zz*, *vue* 3°.



Vue 5°. Coupe transversale suivant *yy*, *vue* 3°.



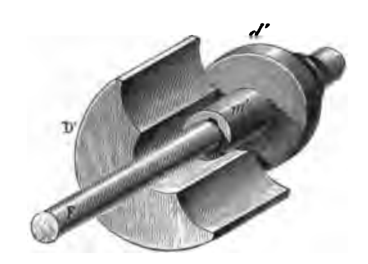
S, T cames ou pistons de la pompe pareillement en bronze.
U couvercle de la pompe.
V conduit d'aspiration.
X conduit de refoulement.
Y volant.

Les flèches sans barbes indiquent les fluides en train de s'introduire; celles avec barbes, les fluides qui s'évacuent; enfin les flèches avec un point sur la queue montrent le mouvement des pièces mobiles elles-mêmes.

Les roues dentées M et N sont enfermées de toutes parts. Cette disposition a pour but de former un compartiment qui, étant rendu parfaitement étanche, évite l'emploi de presse-étoupe sur les fonds des deux cylindres aux endroits où ils sont traversés par les arbres de couche.

La *fig.* 46 montre une came hors de son cylindre et toute montée sur son arbre. On y aperçoit trois parties distinctes, qui sont d'ailleurs d'un seul morceau. La partie D forme la came proprement dite. Cette partie est creuse, et a son intérieur renforcé par des nervures. Le grand disque *d'* et en arrière un plus petit sont destinés à supporter le piston, en se logeant dans des vides très-bien ajustés du couvercle du cylindre. L'arbre traverse le moyeu *m'* et s'y fixe à l'aide d'une clavette. Le moyeu *m'* s'emmanche à frottement doux dans la douille correspondante du fond de cylindre, mentionnée en A, B de la légende précédente; il vient ainsi ajouter son action à celle des deux disques *d'* pour former un portage très-étendu, et prévenir les échauffements ainsi que les fuites de vapeur. La grande épaisseur de la came est propre à empêcher les effets semblables susceptibles de se produire sur son pourtour. — La portion de l'arbre de couche située hors du moyeu de la came, passe sans ajustage, dans la partie de la douille précitée du fond de cylindre qui n'est pas occupée par le moyeu. Cette douille est, ainsi qu'on le voit en F'F" ou G'G", *vue* 5°, *fig.* 45, échancrée sur une certaine étendue de son pourtour, afin de livrer passage à la seconde came du même cylindre, tout en maintenant la séparation entre le côté de ce récipient où s'opère l'évacuation et celui où s'effectue l'introduction.

Fig. 46. Représentation en perspective d'une des cames à vapeur de la *fig.* 45, hors de son cylindre. — Échelle 1/30°.



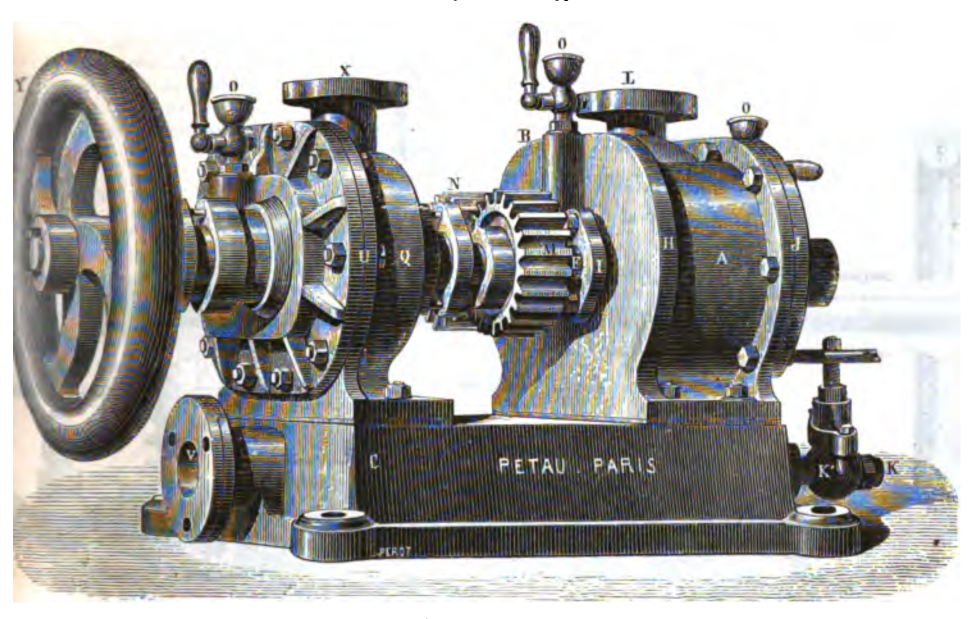
N° 64_4 Type de rotative Behrens pour petit cheval. — Outre le type de l'appareil d'épuisement de cale décrit au n° 64_3, l'usine *Pétau*, à *Passy-Paris*, a déjà fourni à la Marine plusieurs spécimens d'un autre type destiné à remplacer les petits chevaux actuels. — Ce second type est représenté par la *fig.* 47. La légende de la *fig.* 45 s'applique complétement ici; seulement il faut ajouter à cette légende la lettre suivante :

K' robinet servant de valve de prise de vapeur.

Le type qui nous occupe peut refouler dans la chaudière, contre une pression de 3^{at} absolues, et à la vitesse de 300 tours par minute, 6$^{m.cub}$ d'eau à l'heure. Son poids est de 100^{kr} environ.

Fig. 47. Type de rotative Behrens pour petit cheval de la Marine. — Échelle 1/6°

Vue 1°. Perspective de l'appareil.



Vue 2°. Plan de l'appareil.

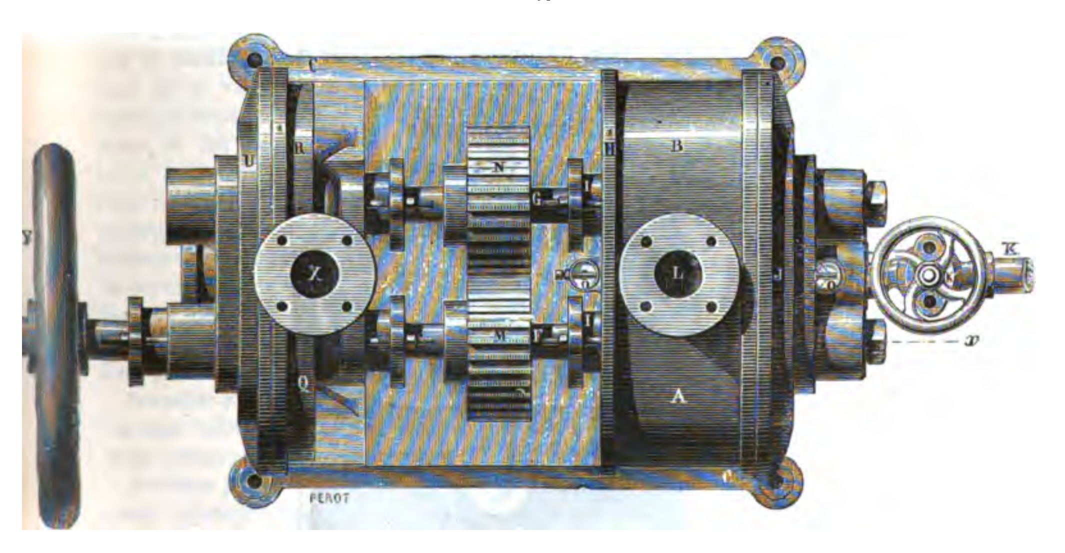
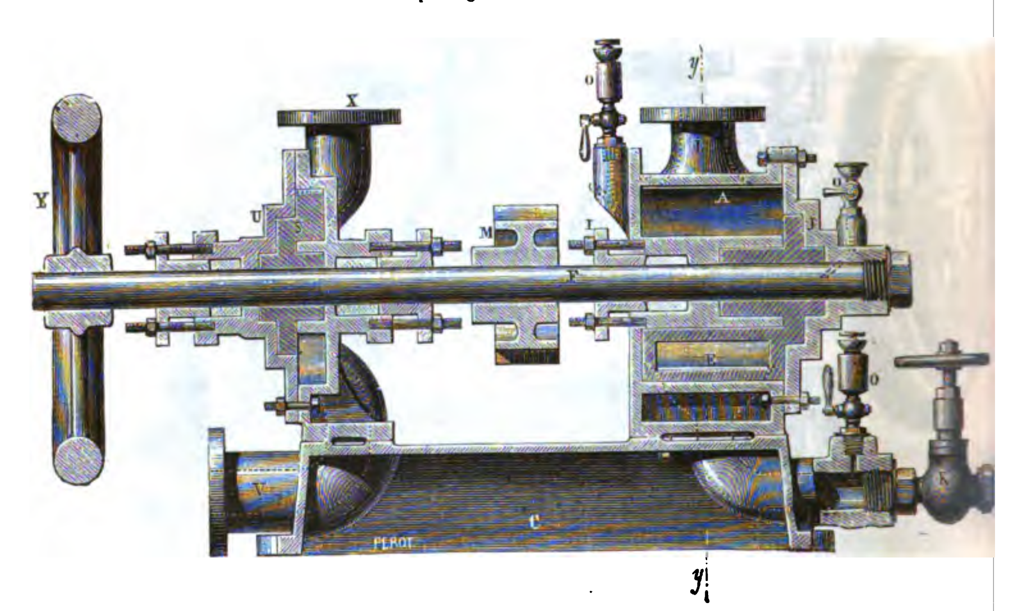
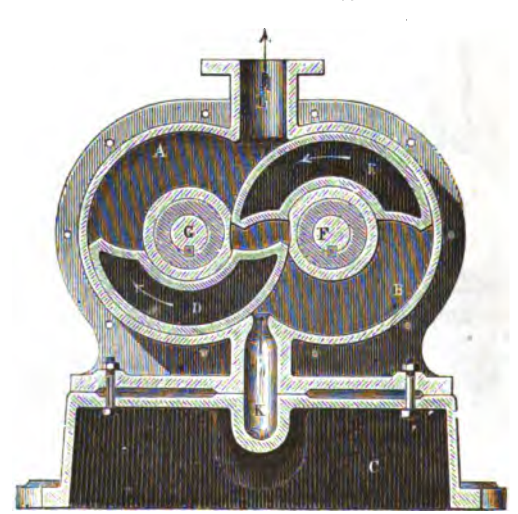


Fig. 47 (suite).

Vue 3°. Coupe longitudinale suivant *xx* de la *vue* 2°.



Vue 4°. Coupe transversale suivant *yy* de la *vue* 3°.



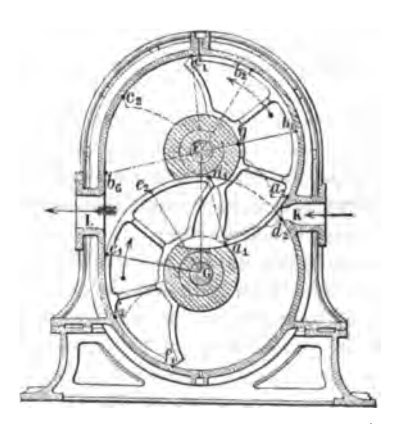
N° 65. — 1. Fonctionnement et travail du Behrens à pleine introduction. — 2. Espaces neutres et volume du Behrens dans le fonctionnement à pleine introduction. — 3. Fonctionnement et travail du Behrens avec détente. — 4. Espaces neutres et volume du Behrens dans le fonctionnement avec détente. — 5. Tracé du profil des cames du Behrens. — 6. Propriétés et calcul des espaces neutres du Behrens. — 7. Jeu de la pompe du Behrens. — 8. Résumé des principales expériences faites sur le Behrens.

N° 65_1 Fonctionnement du Behrens à pleine introduction. — Nous avons tracé, pour étudier le fonctionnement du Behrens, des positions successives des cames, représentées sur les diverses *vues* de la *fig.* 48. Nous avons eu soin de légender sur toutes les *vues*, chaque came par les trois mêmes lettres placées aux deux extrémités et au milieu du pourtour, à savoir : a, b, c pour la came supérieure, et par d, e, f pour la came inférieure. De plus, ces lettres portent en indice les chiffres $_{1, 2, 3, 4 \ldots}$ suivant qu'elles correspondent à la 1re, 2e, 3e, 4e... position.

Cela posé, voici les positions principales que prennent les cames dans un tour complet, et les fonctions particulières qu'elles y remplissent, en supposant d'abord qu'on *fonctionne à pleine introduction*.

Première position, vue 1°. — La came supérieure est en $a_1b_1c_1$, et la came inférieure en $d_1e_1f_1$. La vapeur s'introduit par l'arête a_1 dans l'espace compris entre les profils en regard des deux cames, et qui se trouve déjà plein de vapeur à la tension de l'évacuation. — La came supérieure reçoit la pression de la vapeur d'admission sur son profil a_1, tandis que le profil c_1 n'est soumis qu'à la tension de la vapeur d'évacuation. Cette came est donc poussée avec une certaine force, et fait tourner l'arbre F. — La came inférieure a ses deux profils qui reçoivent la pression de la vapeur d'admission, et n'a aucune action pour entraîner son arbre G. C'est, au contraire, ce dernier qui la meut, grâce au mouvement qu'il reçoit pour l'instant de l'arbre supérieur F par l'intermédiaire des roues dentées M et N, *fig.* 45.

Fig. 48, vue 1°. Première et deuxième position des cames.



Deuxième position, vue 1°. — La came supérieure en $a_2b_2c_2$ agit toujours. — La came inférieure en $d_2e_2f_2$ a son arête d_2 qui ferme à l'introduction et cette came continue à ne produire aucun effet pour la rotation.

Troisième position, vue 2°. — La came supérieure en $a_3b_3c_3$ agit encore. — La came inférieure en $d_3e_3f_3$ commence à laisser évacuer par son arête f_3, à travers le conduit L, la vapeur emprisonnée entre ses deux profils. L'action de cette came est encore nulle.

Quatrième position, vue 2°. — Les deux cames en $a_4b_4c_4$ et $d_4e_4f_4$ ont simultanément leurs axes dans l'alignement de la ligne des centres et dirigés en haut. — La came supérieure continue à entraîner son arbre. — L'action de la came inférieure est encore nulle; seulement ses deux profils ne sont plus soumis ici, qu'à la faible pression de la vapeur d'évacuation.

Cinquième position, vue 3°. — La came supérieure en $a_5b_5c_5$ ferme à l'évacuation par son profil c_5. La came inférieure en $d_5e_5f_5$ a son profil f_5 qui se trouve en contact avec l'échancrure de la douille supérieure du fond du cylindre. — Les deux profils en question forment alors avec les échancrures des deux

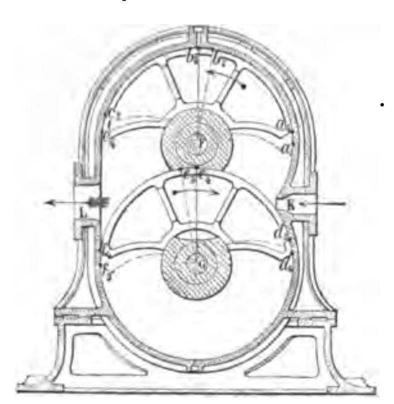


Fig. 48, vue 2°. Troisième et quatrième position des cames.

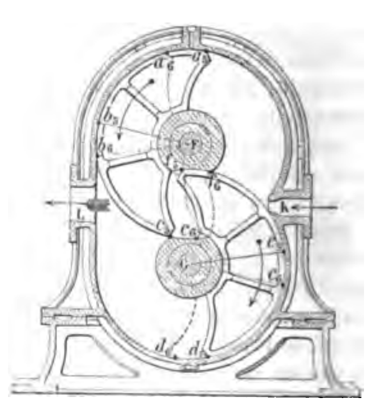


Fig. 48, vue 3°. Cinquième et sixième position des cames.

douilles du fond du cylindre, un certain espace fermé de toutes parts, et dont la section perpendiculaire aux axes des arbres et que nous apercevons sur la *vue* 3°, est un polygone curviligne de huit côtés. Cet espace est rempli de vapeur d'évacuation, et comme il demeure constant (n° 65_6) pendant le déplacement subséquent des cames, il s'ensuit que, jusqu'à ce que celles-ci arrivent à la sixième position, elles continuent l'une et l'autre à jouer respectivement le rôle qu'elles n'ont cessé de remplir depuis la première position.

Sixième position, vue 3°. — Cette position est l'analogue de la première position, c'est-à-dire que la came inférieure en $f_6e_6d_6$ joue le même rôle que la came supérieure en $a_1b_1c_1$, et *vice-versa*. On voit, en effet, que la vapeur d'introduction va affluer par l'arête f_6 dans l'espace compris entre les profils en regard des deux cames. — La came inférieure en $f_6e_6d_6$ aura ainsi son profil f_6 poussé par la vapeur d'introduction, tandis que son profil d_6 ne recevra que la pression de la vapeur d'évacuation. Cette came sera donc, dès ce moment même, entraînée avec une certaine force. — La came supérieure $c_6b_6a_6$, au contraire, éprouvera dès lors sur ses deux profils une pression égale à celle de la vapeur d'introduction. Elle n'aura plus, par conséquent, aucune action; et elle recevra son mouvement de la came inférieure par l'intermédiaire de son arbre et de l'engrenage qui le relie à l'arbre infé-

rieur. — Dans ce changement de rôle, les deux roues dentées qui forment l'engrenage en question, renversent également leurs fonctions; c'est-à-dire que la roue supérieure, qui tout à l'heure était la *roue menante*, devient la *roue menée*, et réciproquement. Aussi, pour prévenir l'à-coup qui pourrait résulter de ce renversement de fonctions, a-t-on soin de tailler les engrenages sans aucun jeu et avec une extrême précision.

Septième position, vue 4°. — La came inférieure est ici en $f_7e_7d_7$. — La came supérieure, qui se trouve en $c_7b_7a_7$, ferme à l'introduction par son arête c_7. — La position qui nous occupe est l'analogue de la deuxième position : tout ce

Fig. 48, vue 4°. Septième et huitième position des cames.

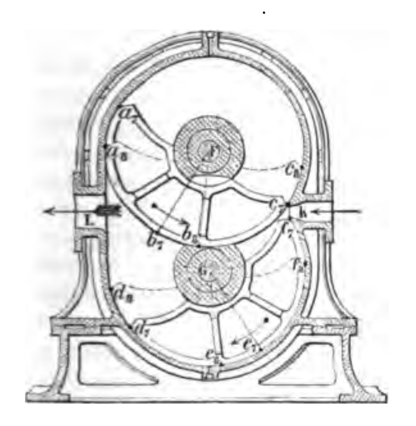
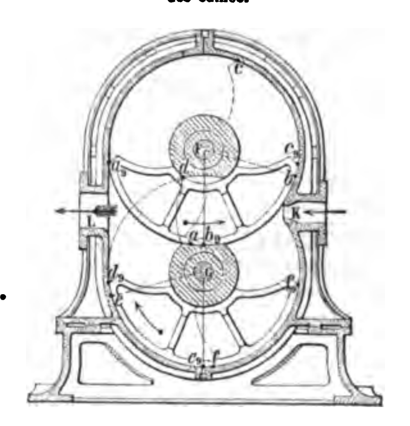


Fig. 48, vue 5°. Neuvième et dixième position des cames.



qui a été dit à propos de cette deuxième position pour la came supérieure est applicable présentement à la came inférieure, *et vice-versa*.

Huitième position, vue 4°. — Cette position, où les deux cames sont en $f_8e_8d_8$ et en $a_8b_8c_8$, est l'analogue de la troisième position. Ici c'est la came supérieure qui ouvre à l'évacuation par son arête a_8.

Neuvième position, vue 5°. — Cette position est l'analogue de la quatrième position. Les deux cames $f_9e_9d_9$ et $c_9b_9a_9$ ont leurs axes dans l'alignement de la ligne des centres et dirigés en bas.

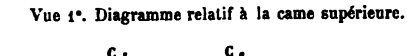
Dixième position, vue 5°. — La came inférieure, qui est ici en *fed*, ferme à l'évacuation; tandis que la came supérieure en *cba*, est encore en prise avec l'échancrure de la douille inférieure du fond du cylindre. Cette position es l'analogue de la cinquième position.

— La mise en marche, le stoppage, et en général la conduite de la rotative Behrens, ne demandent aucune explication, tant sa manœuvre est simple, facile et sûre. Il suffit de faire jouer l'organe de prise de vapeur de manière obtenir l'effet désiré; et cet effet se produit toujours sans hésitation.

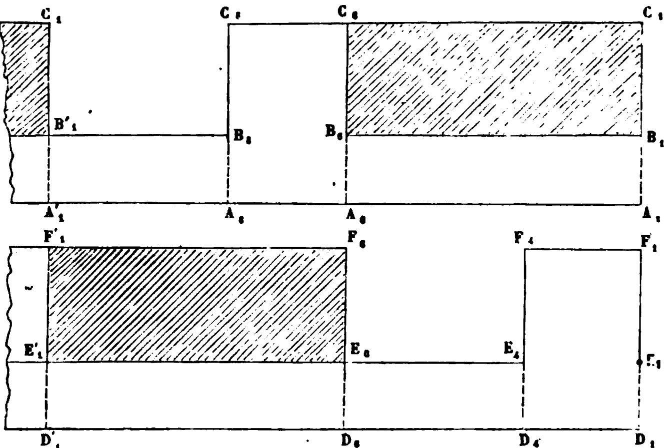
Travail du Behrens fonctionnant à pleine introduction. — Il résulte des explications précédentes que la vapeur pousse la came supé-

rieure depuis la position 1 jusqu'à la position 6. Entre ces deux **positions**, les cames ont tourné d'un angle égal à b_1Fb_6, *vue* 1°, *fig.* 48, compté dans le sens du mouvement, et obtenu en menant par le point F une parallèle à l'axe Fb_6, *vue* 3°, de la came supérieure dans la sixième position. Or à ce moment la came inférieure occupant une situation analogue à la première position de la came supérieure, les lignes Ge_6, *vue* 3°, et Fb_1, *vue* 1°, font, avec *la ligne des centres* FG et dans le sens de leurs mouvements respectifs, des angles FGe_6 et GFb_1 égaux entre eux. L'angle de la droite Fb_6, *vue* 3°, avec la ligne des centres, est supplémentaire de l'angle de la droite Ge_6 avec cette même ligne, et s'étend d'ailleurs du coté opposé. Donc l'angle b_1Fb_6, *vue* 1°, est égal à 180°.

Cela posé, cherchons à trouver le *diagramme théorique* du Behrens lorsqu'il


Fig. 49. Diagrammes théoriques d'une rotative Behrens fonctionnant à pleine introduction, et avec évacuation à l'air libre.

Vue 1°. Diagramme relatif à la came supérieure.



Vue 2°. Diagramme relatif à la came inférieure.

travaille à pleine introduction. Tirons une ligne $A_1A'_1$, *vue* 1°, *fig.* 49, pour représenter la ligne zéro des pressions absolues; et prenons sur cette ligne une longueur déterminée qui correspondra à la circonférence moyenne de la came, sur laquelle se trouve le centre de pression. — Élevons au point A_1, qui correspond à la première position de la came considérée, une perpendiculaire A_1C_1 à $A_1A'_1$; et portons sur cette ligne deux longueurs A_1C_1 et A_1B_1 proportionnelles aux pressions absolues présumées de la vapeur d'introduction et de la vapeur d'évacuation, que nous supposerons ici s'échapper en plein air. Prenons A_1A_6 égale à la moitié de $A_1A'_1$, qui est le chemin que parcourt le centre de pression depuis la position 1 jusqu'à la position 6 de la came. Élevons en A_6 une nouvelle perpendiculaire, et prenons A_6C_6 et A_6B_6 respectivement égales à A_1C_1 et A_1B_1. La droite C_1C_6 figurera la ligne de la pression constante d'in-

troduction, et B_1B_6 la ligne de la pression constante d'évacuation. Le rectangle haché $C_1B_1B_6C_6$ représentera le travail de la came supérieure depuis la position 1 jusqu'à la position 6. — Faisons maintenant A_6A_8 égale au chemin parcouru par les centres de pression des deux profils de la came depuis la position 6 jusqu'à la position 8; et prenons A_8C_8 égale à A_1C_1. La droite C_6C_8 représentera la ligne des pressions constantes égales à celle d'introduction qui agissent simultanément sur les deux profils de la came entre les deux positions 6 et 8. — Enfin, portons $A_8A'_1$ égale au chemin décrit par les centres de pression depuis la position 8 jusqu'à la position 1, et prenons A_8B_8 et $A'_1B'_1$ égales à A_1B_1. La droite $B_8B'_1$ figurera la ligne des pressions constantes égales à celle d'évacuation qui agissent simultanément sur les deux profils de la came depuis la position 8 jusqu'à la position 1.

Le diagramme relatif à la came inférieure s'obtiendra, comme on le voit en *vue* 2e, *fig.* 49, d'une manière tout à fait analogue à la précédente. — On prendra $D_1D'_1$ égale à $A_1A'_1$; puis on élèvera sur $D_1D'_1$ des perpendiculaires de longueurs voulues en différents points D_1, D_4, D_6 et D'_1, correspondant aux positions 1, 4, 6 et 1 de la came inférieure, etc. — Les lettres D, E, F remplissant ici le même rôle que les lettres A, B, C du premier diagramme, et leurs indices représentant les numéros des diverses positions de la came inférieure, nous nous dispenserons de plus amples explications.

— Pour obtenir les diagrammes du Behrens avec des indicateurs de Watt, il faudrait employer deux de ces instruments. L'un communiquerait avec le conduit d'introduction, et l'autre avec le conduit d'évacuation. De son coté, le système à papier de chaque instrument devrait être installé de manière à communiquer au papier un mouvement continu et non alternatif. On superposerait ensuite les deux diagrammes.

— Pour évaluer en kilogrammètres le travail du Behrens à l'aide des diagrammes, on devra d'abord calculer l'effort moyen effectif P^{ks} correspondant à leurs surfaces effectives, lesquelles sont hachées sur la *fig.* 49 puis ; en désignant par :

R et R′ en mètres, les rayons des deux circonférences extrêmes des cames,
L en mètres, l'épaisseur des cames,
P en kilogrammes par centimètre carré, l'effort moyen effectif pour les deux cames,

on aura :

$$\textit{Pression totale de poussée} = 10.000\ (R - R')\ L \times P.$$

$$\textit{Chemin parcouru par cette force} = 2\pi \left(\frac{R + R'}{2}\right).$$

D'où l'on déduit :

$$\textit{Travail par tour}\ T^{km} = 31.416\ (R^2 - R'^2)\ P\ L.$$

Pour calculer ce travail sans diagrammes, il faut remplacer P par la différence entre la pression absolue de la vapeur en *kg* par *cm.c*, et la contre-pression qui est toujours un peu supérieure à 1^{kg},0334.

N° 65_3 Espaces neutres et volume du Behrens dans le fonctionnement à pleine introduction. — Si l'on considère le

rectangle résultant d'une coupe quelconque menée suivant l'axe de l'arbre dans l'épaisseur d'une came, on voit aisément que le volume engendré par ce rectangle entre deux positions quelconques de la came, sera le même que celui engendré par un des profils de cette pièce. D'un autre côté, l'angle décrit par les cames depuis la position 1 jusqu'à la position 6 vaut 180°. Donc le volume engendré par la came supérieure est égal à une demi-couronne cylindrique dont la hauteur serait l'épaisseur de la came, et la largeur la différence entre le rayon extérieur et le rayon intérieur de cette pièce.

Ce volume représente le volume de vapeur qui serait nécessaire dans une machine ordinaire, sans espace neutre et fonctionnant à pleine introduction, pour produire le même travail que la machine Behrens pendant un demi-tour. — D'autre part, considérons que la portion de couronne cylindrique qui correspond à l'intervalle compris entre les deux profils de la came inférieure, représente un volume qui demeure constant. Par conséquent, de la position 1 à la position 6, le volume de vapeur introduit est égal au volume d'une demi-couronne cylindrique augmenté de la quantité de fluide nécessaire pour remplir de vapeur, à la pression d'introduction, l'espace compris entre les profils a_1 et d_1, *vue* 1°, *fig* 48, des deux cames dans la position 1, et qui, du reste, est déjà plein de vapeur à la pression d'évacuation. Cet espace correspond donc exactement à l'espace neutre d'une machine ordinaire. Il est évident qu'il y en a un second qui lui est exactement égal; c'est l'espace compris entre les profils f_6 et c_6, *vue* 3°, *fig*. 48, lors de la position 6 des cames. On trouvera au n° 65_6, le moyen de calculer ces espaces neutres. Ils valent, dans les divers types que nous avons étudiés, de 1/11 à 1/7 du volume utile de vapeur. On ne peut nier que cette proportion ne soit très-élevée. Mais quand on fonctionne à grande détente, son influence relative diminue notablement (n° 65_3).

N° 65_3 Fonctionnement du Behrens avec détente. — Il faut, dans ce cas, employer un organe spécial mû par un excentrique monté sur l'un des arbres, et ouvrant ou fermant l'arrivée de la vapeur à de certains moments de la rotation. A chaque demi-tour, l'organe de détente ne doit jamais réouvrir avant la position 2, *vue* 1°, *fig*. 48, ou la position 7, *vue* 4°. — Cela posé, examinons, à partir de la position 1, ce qui se passe dans le fonctionnement qui nous occupe.

Dès que la came supérieure a entr'ouvert l'espace compris entre les profils a_1 et d_1 des deux cames, et qui n'est rempli que de vapeur à la pression d'évacuation, la vapeur d'introduction située en arrière du profil f_1 et qui était en train de se détendre, se répand dans cet espace. Dès lors, la came inférieure ne travaille plus, et la came supérieure reçoit la poussée d'une vapeur qui continue à se détendre. — Au moment de la position 2, la came inférieure emprisonne entre ses deux profils et les parois du cylindre, la vapeur qu'elle va évacuer dans un instant. D'un autre côté, à ce même moment la vapeur d'admission afflue par le fait de l'ouverture de l'organe de détente, et remplit l'espace compris entre le dos de la came inférieure et le profil en regard de la came supérieure. — Il est clair que l'introduction doit cesser entre les positions 2 et 6 ; car, à partir de la position 6, la came supérieure ne travaille plus,

puisque ses deux profils reçoivent l'un et l'autre l'action de la vapeur détendue. A cette même position 6, la vapeur située en arrière du profil a_6, se répand dans l'espace compris entre les deux profils c_6 et f_6. — Bientôt arrive la position 7, où l'organe de détente laisse la vapeur s'introduire pour agir sur la came inférieure, et où la came supérieure emprisonne entre ses deux profils et les parois du cylindre, la vapeur qu'elle évacuera dans un instant. Cette évacuation commence dans la position 8. Puis de là jusqu'à la position 1, il ne se présente plus rien de particulier pour la came supérieure, tandis que pendant ce temps la période de détente commence pour la came inférieure.

Travail du Behrens avec détente. — On peut facilement représenter par un diagramme théorique le travail de la rotative Behrens, et de plus, en même temps, le jeu de chaque came pendant un tour dans le fonctionnement avec détente. Ainsi pour la came supérieure, prenons $A_1A'_1$, *vue* 1°, *fig.* 50, pour représenter la circonférence moyenne des cames. Puis, au point A_1, élevons la perpendiculaire A_1C_1; et prenons-là d'une longueur proportionnelle à la pression P″ qui existe derrière le profil a_1 *vue* 1°, *fig.* 48, au moment où ce profil ouvre l'espace neutre compris entre lui et le profil d_1. Pour obtenir cette pression P″, il faut d'abord calculer la tension P′ qui existe derrière le profil f_1 lors de la position 1, ou, ce qui est la même chose, derrière le profil a_6 lors de la position 6. Ce calcul se fera facilement, car on connaît :

- P la pression absolue d'introduction.
- V le volume décrit par le profil a_2 depuis le commencement jusqu'à la fin de l'introduction. D'après ce qu'on a vu au n° 65_2, ce volume est évidemment égal à l'arc décrit par le centre de pression du profil entre les deux moments considérés, multiplié par la surface du rectangle obtenu en coupant la came par un plan quelconque conduit suivant l'axe de l'arbre de couche.
- V′ le volume décrit encore par le profil en question depuis la fin de l'introduction jusqu'à la position 6.
- v le volume compris, au moment de la position 2, entre le dos de la came inférieure et le profil a_2 de la came supérieure.
- v' le volume correspondant à l'espace neutre compris entre les profils des deux cames, les profils a_1 et d_1 *fig.* 48, *vue* 1°, par exemple.

Ceci posé, nous admettrons que la pression de la vapeur qui se détend varie suivant la loi de Mariotte, et nous trouverons pour la tension demandée :

$$P' = \frac{P(V+v)}{V+V'+v}.$$

Connaissant la tension qui existe pour la position 1 derrière le profil f_1, nous obtiendrons la pression P″ de la vapeur au moment où le profil a_1 ouvrira l'espace neutre compris entre lui-même et le profil d_1, et dont le volume est v', en appliquant encore la loi de Mariotte; ce qui donnera :

$$P'' = \frac{P(V+v)}{V+V'+v+v'}.$$

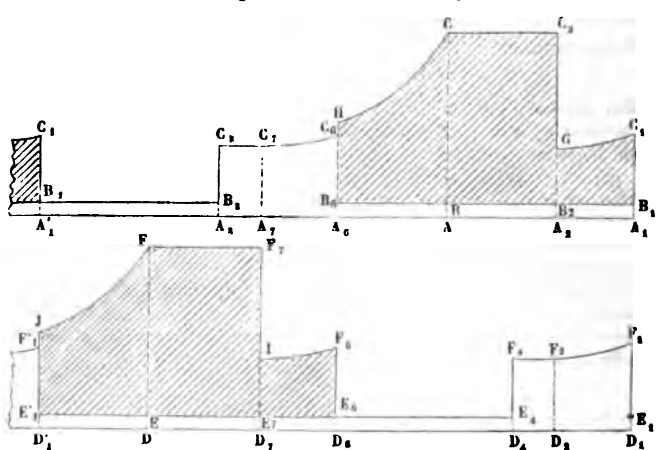
C'est donc une longueur proportionnelle à cette quantité qu'on dera porter de A_1, *vue* 1°, *fig.* 50, en C_1. — De la position 1 à la position 2, la vapeur se détend en travaillant ; et son volume augmente simplement du volune V″ *engendré par le profil arrière de la came supérieure entre ces deux positions.* Car, ainsi que nous l'avons déjà dit au n° 65_2, l'intervalle compris entre les deux profils de la came inférieure demeure constant. La pression derrière cette came au moment de la position 2, est donc :

$$P''' = \frac{P(V+v)}{V+V'+v+v'+V''}.$$

Prenons maintenant, *fig.* 50, A_1A_2 proportionnelle au chemin parcouru par les centres de pression des profils de la came de la position 1 à la position 2. Élevons ensuite la perpendiculaire A_2G ; et prenons-la proportionnelle à P‴. Dès lors, pour avoir la courbe des pressions de la vapeur qui pousse la came de la

Fig. 50. Diagrammes théoriques d'une rotative Behrens fonctionnant avec détente et avec évacuation dans un condenseur.

Vue 1°. Diagramme relatif à la came supérieure.



Vue 2°. Diagramme relatif à la came inférieure.

position 1 à la position 2, il nous suffira de joindre les points C_1 et G par la branche d'hyperbole équilatère bien connue (n° 4_4) qui exprime graphiquement la loi de Mariotte.

— D'un autre côté, on prendra A_1B_1 proportionnelle à la pression du côté de l'évacuation, que nous supposerons ici avoir lieu dans un condenseur ; puis on portera $A_2B_2 = A_1B_1$: la ligne B_1B_2 représentera la ligne de la pression constante de la vapeur d'évacuation. Dès lors la surface hachée $B_1C_1GB_2$ figurera le travail de la Rotative depuis la position 1 jusqu'à la position 2.

A la position 2, l'organe de détente ouvrant, la pression deviendra égale à la

pression d'introduction. Par conséquent, il faudra prendre A_2C_2 proportionnelle à cette pression. Puis, on portera A_2A proportionnelle au chemin parcouru par les centres de pression des profils de la came considérée depuis la position 2 jusqu'au moment où se fera la détente. On élèvera la perpendiculaire AC égale à A_2C_2, et on prendra $AB = A_2B_2$. — La droite C_2C représentera la ligne de la pression constante d'introduction, B_2B la ligne de la pression constante d'évacuation, et le rectangle haché B_2BCC_2 figurera le travail de la Rotative pendant la période d'introduction.

A partir de A, portons AA_6 proportionnelle au chemin parcouru par les centres de pression des profils de la came, depuis la fin de l'introduction jusqu'à la position 6. Élevons ensuite en A_6 une perpendiculaire à $A_1A'_1$; et prenons la longueur A_6H proportionnelle à la pression P' calculée ci-dessus, et la longueur A_6B_6 égale à A_1B_1. — Joignons les points C et H par la branche d'hyperbole équilatère qui représente la ligne des pressions de la vapeur pendant la détente, en admettant la loi de Mariotte. Tirons, d'autre part, la droite BB_6 ; et nous aurons la surface hachée BB_6HC qui représentera le travail de la vapeur pendant la détente.

Dès que la came supérieure a franchi la position 6, la vapeur qui pousse le profil a_6, *vue* 3°, *fig.* 48, s'introduit entre les deux profils c_6 et f_6 ; et la pression tombe de H, *vue* 1°, *fig.* 50, en C_6, en devenant A_6C_6 qui est évidemment égale à A_1C_1. De la position 6 à la position 7, les deux profils de la came supérieure sont soumis à une même pression, qui va en diminuant suivant la loi de Mariotte, et qui, au moment de la position 7, devient manifestement égale à la pression P''' donnée ci-dessus. — Donc, prenons la longueur A_6A_7 proportionnelle au chemin décrit par les centres de pression des profils de la came de la position 6 à la position 7, et par suite égale à A_1A_2. Au point A_7 menons la perpendiculaire A_7C_7 proportionnelle à P''', et par conséquent égale à A_2G. En joignant C_6C_7 par une branche d'hyperbole identique à C_1G, cette ligne C_6C_7 nous représentera la ligne des pressions variables agissant en même temps sur les deux profils de la came entre les deux positions considérées.

De la position 7 à la position 8, ces deux mêmes profils supporteront encore des pressions égales et opposées, mais qui demeureront constantes, et équivalentes à P'''. On pourra donc tirer facilement la droite C_7C_8 parallèle à $A_1A'_1$, qui représentera sur notre diagramme la ligne de ces pressions constantes.

Enfin, en prenant $A_8A'_1$ proportionnelle au chemin décrit par les centres de pression des profils de la came de la position 8 à la position 1, et en portant A_8B_8 et $A'_1B'_1$ égales à A_1B_1, on aura en $B_8B'_1$ la ligne des pressions constantes d'évacuation qui agissent sur les deux profils en question, entre les deux positions considérées.

Le diagramme, *vue* 2°, *fig.* 50, relatif à la came inférieure, s'obtiendra d'une manière tout à fait analogue à la précédente. Les lettres D, E, F, I, J, jouent ici le même rôle que les lettres A, B, C, G, H de la *vue* 1°, et leurs indices représentent les numéros des diverses positions de la came inférieure. Il sera donc facile au lecteur d'appliquer au second diagramme les explications données pour le premier.

— Pour terminer par le calcul le travail théorique sur les pistons et *par tour*

de la rotative Behrens fonctionnant avec détente, il suffit d'avoir recours à la formule logarithmique bien connue (n° 7_6), qui convient dans l'hypothèse que nous avons admise de la variation des pressions suivant la loi de Mariotte. En appliquant cette formule, on trouve facilement le résultat suivant, où les lettres ont la même signification que plus haut et que dans le n° 65_2, mais où P représente la pression absolue de la vapeur pendant l'introduction, et p la valeur de la contre-pression en kilog. par centimètre carré.

$$T^{km} = 20.000\, P^{kg} \left[V + (V+v) \left(\frac{V+V'+v}{V+v} \times \frac{V+V'+v+v'+V''}{V+V'+v+v'} \right) - 10.000\pi (R^2 - R'^2)\, L \times p^{kg} \right].$$

Cette formule peut avantageusement se remplacer par la suivante :

$$T^{km} = 31.416 (R^2 - R'^2)\, L \left[\frac{P^{kg}}{360^\circ} \left(O + (O+o)\, 2{,}3026 \text{ log. vulg. } \frac{(O+O'+o) \times (O+O'+o+o'+O'')}{(O+o) \times (O+O'+o+o')} \right) - p^{kg} \right].$$

Dans cette dernière expression, O, O', O'' *désignent les angles, évalués en degrés, dont tournent les cames pour engendrer réellement les volumes* V, V', V'', *et* o, o', *les angles dont elles devraient tourner pour engendrer les volumes égaux à* v *et* v'.

— Pour obtenir des diagrammes réels à l'aide d'indicateurs, il faudrait se servir de deux instruments, installés d'ailleurs ainsi qu'il a été expliqué dans le cas du fonctionnement à pleine introduction. L'un de ces instruments serait mis en communication avec le conduit K, *vue* 1°, *fig.* 48, et l'autre avec le conduit L.

N° 65_4 Espaces neutres et volume du Behrens dans le fonctionnement avec détente.— L'espace compris entre le profil a_2, *vue* 1°, *fig.* 48, de la came supérieure et le dos de la came inférieure lors de la position 2, est un véritable espace neutre. Nous montrons au n° 65_6 qu'il est inférieur à l'espace neutre relatif au fonctionnement à pleine introduction. Au surplus, nous devons remarquer que l'espace neutre actuel est déjà plein de vapeur à une certaine tension, ce qui diminue d'autant la quantité de la vapeur d'introduction nécessaire pour le remplir de fluide à la pression de cette vapeur. En outre, à partir du moment où l'introduction cesse et la détente commence, il résulte de la présence de la vapeur qui remplit alors l'espace neutre, que la pression pendant l'expansion se trouve à chaque instant plus grande qu'elle ne le serait sans cela. Donc, l'influence de l'espace neutre qui nous occupe est de peu d'importance pour les marches à grande détente. — Il y a, bien entendu, un second espace neutre relatif au fonctionnement avec détente, qui n'est autre que le volume compris entre le profil f_7, *vue* 4°, de la came inférieure et le dos de la came supérieure lors de la position 7.

Dans les machines ordinaires, les espaces neutres sont également d'autant moins nuisibles qu'on fonctionne à plus grande détente. Mais alors ces espaces

ne se trouvent remplis que de vapeur d'évacuation au commencement de chaque introduction. Au contraire, les espaces neutres de la rotative Behrens fonctionnant avec expansion, sont au même moment pleins de vapeur à la pression de la fin de la détente. Il résulte de là une diminution de dépense de vapeur, qui compense, au moins en partie, la plus grande valeur relative de ces derniers espaces neutres par rapport à ceux des machines ordinaires.

N° 65$_3$ Tracé du profil des cames du Behrens. — Les axes des cames, c'est-à-dire les lignes F*b* , et Ge_1, *vue* 1°, *fig.* 48, qui partagent les arcs extérieurs de ces pièces en deux parties égales, doivent devenir en même temps perpendiculaires à la ligne des centres FG, en étant d'ailleurs situées de part et d'autre de cette ligne. Cela est nécessaire, parce que les deux cames devant agir à tour de rôle et dans les mêmes conditions, il faut qu'à chaque demi-tour, chacune d'elles occupe par rapport à l'autre, la position que celle-ci occupait au demi-tour précédent par rapport à la première.

En second lieu, à cause de la symétrie des fonctions de la came inférieure et de la came supérieure à un demi-tour de distance, les arcs extérieurs des deux cames doivent avoir égale étendue. — Pour la même raison de symétrie, et en raison de ce que les profils doivent se livrer réciproquement passage, il faut que les quatre profils des cames soient identiques.

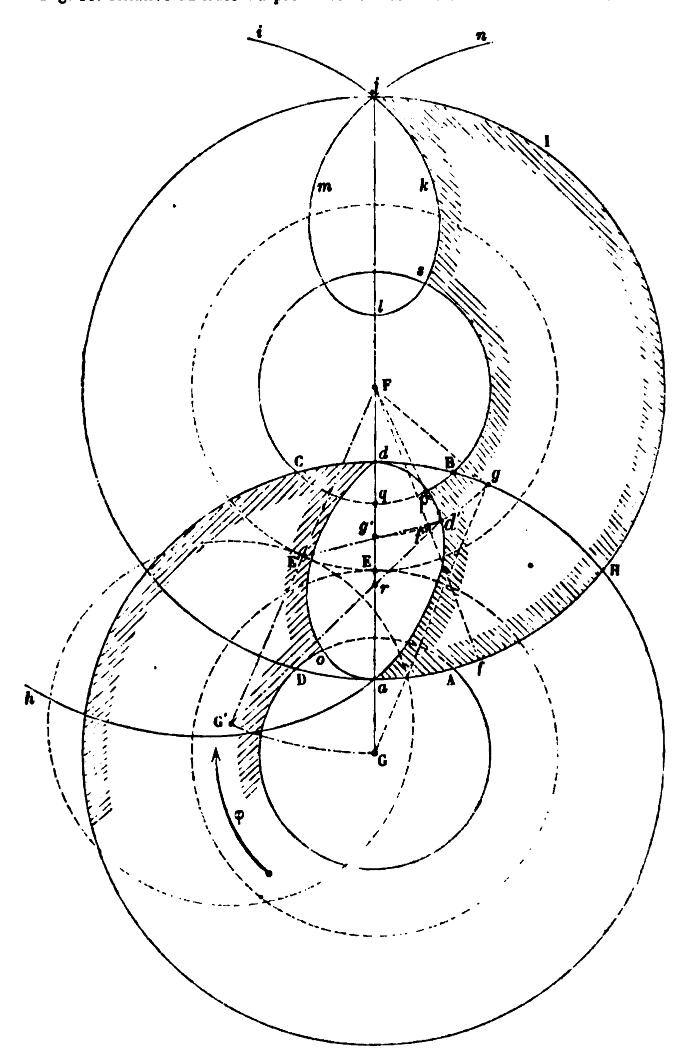
Cela posé, supposons d'abord qu'au moment où l'extrémité a_1, *vue* 1°, *fig.* 48, du profil de la came supérieure arrive en A, *fig.* 51, c'est-à-dire au moment où l'espace neutre va être mis en communication avec la chambre à vapeur, on veuille que l'extrémité du profil de la came inférieure arrive en B, de manière qu'à ce moment le contact entre le dos de cette dernière came et la douille supérieure de fond de cylindre s'étende de C en B, et que, par suite, on obtienne une séparation aussi parfaite que possible entre le compartiment où débouche la vapeur et celui qui communique avec l'évacuation. Comme les cames tournent dans un même temps d'angles égaux, la condition précédente entraîne naturellement cette autre, que, quand l'extrémité du profil de la came inférieure sera en *d*, celle du profil de la came supérieure sera en *a*. Or, pour que les deux cames ne se rencontrent pas, il est aisé de voir qu'il suffit que la pointe du profil de chacune d'elles ait son libre passage le long des profils de l'autre came. Ainsi l'extrémité *d* devra se mouvoir de *d* en *a* sans rencontrer le profil de la came supérieure. Cette condition exige que ce profil ait la forme d'une portion du nœud d'une épicycloïde allongée.

Cette épicycloïde ne peut se tracer que point par point. Il nous suffit donc de montrer la manière d'obtenir un point. Le moyen le plus naturel pour cela, consiste à tracer le cercle GE dans la position G'E' qu'il doit occuper après avoir roulé d'un certain arc. Dans ce roulement, le rayon G*d* viendra évidemment en G'*d'*, obtenu, pour le cas qui nous occupe, en faisant l'angle FG'*d'* = E'FE; car les rayons des cercles primitifs sont égaux. En même temps, le point *d* occupera la position *d'* située à une distance G'*d'* de G' égale à G*d*. Ce point *d'* sera un des points de la courbe cherchée.

On peut encore employer, pour tracer l'épicycloïde dont nous nous occupons, la méthode suivante, qui est assez élégante :

On divise les arcs aH et dH en un même nombre de parties *égales*. On numérote sur chaque arc, par la suite naturelle des nombres, les divers points de division des deux arcs, en allant de d en H et de a en H. — Soit g un des

Fig. 51. Relative au tracé du profil normal des cames de la rotative Behrens.



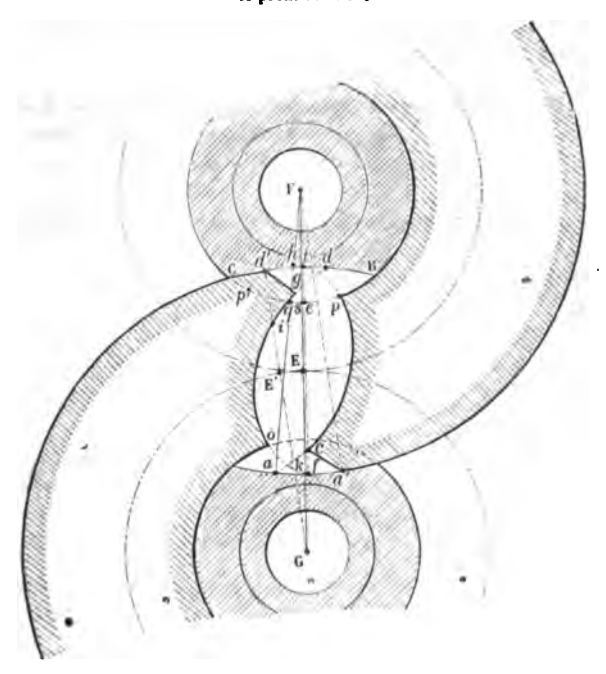
points de division de dH. Du point F comme centre avec Fg pour rayon, on décrit un arc gg', qu'on prolonge jusqu'à sa rencontre avec la ligne des centres FG. Puis on joint le point F avec le point f ayant sur l'arc aH le même

numéro que *g* sur l'arc *d*H. Soit *f'* le point de rencontre de F*f* avec l'arc *gg'* ; **on prend** l'arc *gd'* égal à l'arc *g'f'*, et le point *d'* est le point demandé.

Qu'on emploie l'une ou l'autre des deux méthodes que nous venons de donner, on arrivera facilement à tracer la portion de courbe *dpd'a* qui, limitée en *p* par le cercle intérieur F*p* de la came supérieure, représentera en *pd'a* l'un des profils de cette came.

— Les profils que nous venons d'obtenir sont ce qu'on peut appeler les profils *normaux*. Ils conviennent d'ailleurs aussi pour la marche de sens contraire


Fig. 52. Relative à la modification du profil normal des cames de la rotative Behrens, et qui donne le profil définitif.

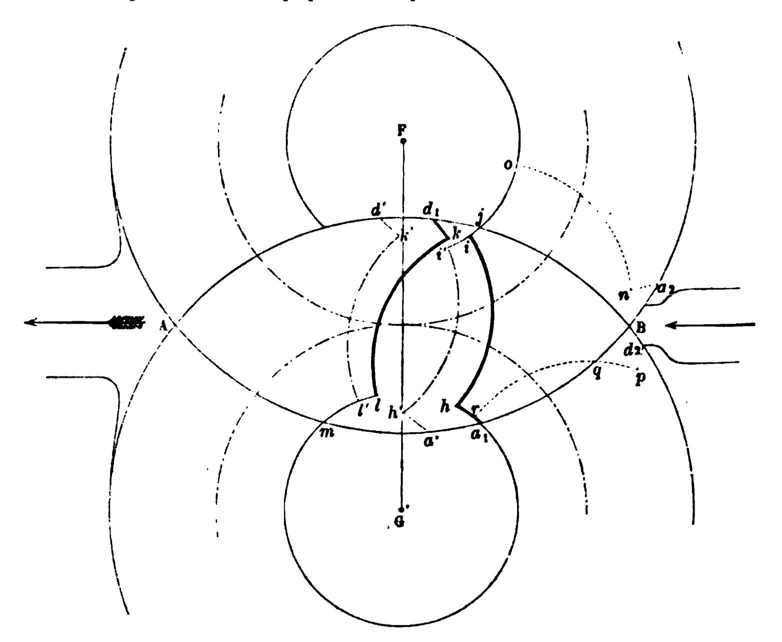


à celle que nous avons considérée. Avec ces profils l'appareil fonctionnerait très-bien, pourvu qu'on eût soin de couper légèrement leurs pointes, telles que *d* et *a*, afin de laisser un peu de jeu. De son côté l'espace neutre relatif à la marche à pleine introduction, serait représenté par deux fois (*d*B*q*+*qpa*). Mais on peut se demander s'il n'y a pas moyen de diminuer cet espace. Cela n'est évidemment possible qu'autant qu'on se départira de la condition fondamentale énoncée ci-dessus, à savoir : que le contact de l'une des cames, la came inférieure par exemple, avec la douille supérieure de fond de cylindre s'étende de C en B au moment où ledit espace ouvre à la vapeur. Or c'est ce qu'on fait en pratique ; et alors voici comment on opère pour réduire l'espace neutre.

Considérant une des cames, la came supérieure par exemple, on prend sur le dos de cette came un point a', *fig.* 52, déterminé comme il est expliqué ci-après. Puis sur le milieu f de l'arc aa', on élève une perpendiculaire fc qui rencontre l'épicycloïde en c ; et on joint c et a' par une ligne droite. On prend alors pour profil la ligne brisée pca'. Le point a' est choisi par tâtonnement, de façon à ce que la différence entre l'espace $eqac$ et l'espace cfa' soit maximum. Ensuite, on fait tourner le profil pca' autour du point F ; et on ramène ainsi le rayon Fef presque sur la ligne FsG des centres, de manière à laisser seulement un *jeu* de quelques millimètres entre cette ligne et le point c. Ce jeu, qui se reportera à peu près intégralement entre les pointes c et a' et le profil od à l'instant de leur plus grand rapprochement, est destiné à prévenir toute rencontre des deux profils. — On fait subir au second profil od la même transformation ogd' et le même genre de déplacement qu'au premier profil.

N° 65_6 Propriétés et calcul des espaces neutres du Behrens. — D'après ce qui a été dit au 65_2, lors du fonctionnement à pleine introduction, l'espace neutre du Behrens est égal à un volume prismatique

Fig. 53. Relative aux propriétés des espaces neutres de la rotative Behrens.



ayant pour section droite l'octogone curviligne $a_1 h i j d_1 k l m a_1$, *fig.* 53, et pour hauteur l'épaisseur des cames.

Cet espace jouit de la propriété curieuse d'être égal à l'espace compris entre deux positions correspondantes quelconques des profils en regard des deux cames, tant que

l'un au moins de ces profils demeure contenu entre les deux arcs Ad'B *et* Aa'B, et cela quelle que soit la forme des profils.

En effet, considérons le polygone curviligne précité. Si le profil d_1kl vient en $d'k'l'$, la surface de ce polygone sera augmentée de l'aire $d_1k_1ll'k'd'$. Mais en même temps le profil a_1hi aura pris la position $a'h'i'$, en diminuant ladite surface de l'aire $a_1hii'h'a'$. Or ces deux aires sont manifestement égales; il en résulte que la surface de l'octogone curviligne demeure bien constante.

La propriété précédente subsiste évidemment tant que les côtés de l'octogone curviligne ne se coupent pas entre eux, et par conséquent, ainsi que nous l'avons dit plus haut, tant que l'un au moins des profils reste contenu entre les arcs Ad'B et Aa'B. Mais il cesse d'en être ainsi quand aucun des deux profils ne satisfait plus à cette condition, comme cela a lieu pour le polygone $a_2nojd_2pra_1a_2$. Dans ce cas, la propriété qui nous occupe se change en la suivante :

La portion a_2nojB de la couronne circulaire correspondante à un des profils a_2no, comprise entre ce profil et la portion jB de l'arc que décrit l'extrémité du second profil, est égale à l'espace neutre habituel S diminué de la surface S′ comprise entre les arcs $ma'a_1$ et mla_1, et augmenté de la somme algébrique des deux surfaces qpd_2 B et a_1rq. Ces deux dernières surfaces sont formées par les deux portions de la couronne circulaire correspondante au second profil, qui résultent du croisement de ce profil et de la portion a_1 B de l'arc décrit par l'extrémité du premier profil; la portion située en dehors de cet arc est considérée comme positive, et l'autre comme négative. La dernière de ces portions devient naturellement nulle quand le profil rp est tout entier en dehors de a_1 B. — Dans tous les cas on a la relation $a_2noj\text{B} = \text{S} - (\text{S}' + a_1rq - qpd_2\text{B})$.

Eu égard aux proportions relatives que possèdent dans la Rotative, les diverses surfaces mises entre parenthèses dans le second membre de l'équation précédente, il est évident que l'espace neutre a_2nojB correspondant à la détente (n°65_4) est un peu inférieur, ainsi que nous l'avons annoncé, à l'espace neutre S relatif au fonctionnement à pleine introduction.

Calcul du volume des espaces neutres. — Il faut d'abord déterminer la section de chaque espace neutre. A cet effet, on se contente en pratique d'évaluer la portion de surface $spca'k$, *fig.* 52, à l'aide de la formule de Simpson ou de toute autre analogue, en prenant FG pour ligne des abscisses. On y ajoute l'aire tBs, qu'on détermine d'une manière semblable, mais en prenant CB pour ligne des abscisses; et on multiplie par 2 la somme de ces deux surfaces. — Une fois cette section obtenue, on la multiplie par l'épaisseur des cames; et le produit donne enfin le volume de l'espace neutre.

On peut déterminer mathématiquement la section de l'espace neutre. Mais cette question est trop complexe pour prendre place dans un ouvrage élémentaire. On en trouvera la solution dans notre ouvrage sur la *Rotative américaine Behrens et la question de la stabilité des machines.*

N° 65_7 Jeu de la pompe du Behrens. — Nous nous servirons, pour l'explication de ce jeu, de la *fig.* 48, qui peut être prise aussi bien pour représenter la pompe que le moteur du Behrens.

A partir de la position 1, *vue* 1°, la came supérieure aspire l'air renfermé dans le tuyau d'aspiration. — Lors de la position 2, en même temps que la came supérieure continue son aspiration, la came inférieure emprisonne entre ses deux profils de l'air déjà un peu raréfié, qu'elle évacue à partir de la position 4, *vue* 2°. — Au moment de la position 5, les deux cames enferment entre leurs profils c_2 et f_2, *vue* 3°, de l'air à la pression atmosphérique. Or l'espace neutre compris entre les profils en regard des cames demeure constant depuis la position 5 jusqu'à la position 6. Il s'ensuit qu'au moment où cette dernière position est franchie, il se répand au milieu de l'air déjà raréfié, qui suit le profil a_2, un volume d'air à la pression atmosphérique égal à cet espace. Cette circonstance tend à augmenter légèrement la pression derrière ce profil, et par conséquent à faire retomber un peu le niveau de l'eau qui est en train de monter dans le tuyau d'aspiration. — Dès la position 6, c'est la came inférieure qui aspire; et les mêmes effets que ci-dessus se reproduisent maintenant pour cette came. Le niveau de l'eau commence par regagner le point qu'il avait atteint; puis il continue à monter, pour baisser encore un instant lorsque les cames franchissent la position 1.

Par cette succession d'effets, l'eau finit, au bout d'un plus ou moins grand nombre de tours, par arriver dans le cylindre de la rotative, et par être refoulée à travers le tuyau L. Dès ce moment, l'influence de l'espace neutre sur l'aspiration devient nulle; car cet espace se trouve rempli d'eau.

Nous avons supposé dans ce qui précède qu'il n'y avait pas de clapet d'aspiration. S'il y en avait un, les petites chutes momentanées de niveau qui ont lieu, venons-nous de voir, pendant l'amorcement, ne se produiraient pas. Il y aurait seulement des temps d'arrêt dans cette élévation.

Qu'il y ait ou qu'il n'y ait point de clapet, il est d'abord évident que l'élévation au-dessus du niveau du puisard, de la partie supérieure du cylindre de la pompe, doit être plus petite que 10^m,33, hauteur de la colonne d'eau faisant équilibre à la pression atmosphérique. Mais cette condition n'est pas suffisante; il faut encore être certain que l'espace neutre compris entre le profil f, *vue* 4°, de la came inférieure et le dos de la came supérieure, n'empêchera pas l'eau d'arriver dans le corps de pompe. Or cela nécessite que le tuyau d'aspiration ne dépasse pas une certaine hauteur maximum, que l'on peut calculer pour le cas où il n'existe pas de clapet d'aspiration et pour le cas où ce clapet existe. Nous devons dire d'ailleurs qu'en pratique on se préoccupe peu de cette question, et qu'après avoir fait les espaces neutres aussi petits que possible, on détermine expérimentalement, quand on en a besoin, la hauteur maximum d'aspiration qui convient à une pompe. On tient ainsi compte de toutes les circonstances du fonctionnement.

En marche, l'usage du clapet d'aspiration est sans effet, parce qu'il reste toujours levé; mais le clapet peut être utile au début, si l'amorçage est difficile; car on peut faire tourner lentement les cames jusqu'à ce que cet amorçage soit effectué. — D'autre part, il est possible d'annuler complètement l'influence de l'espace neutre en mettant de l'eau dans le tuyau de refoulement; car c'est alors de l'eau qui rentre dans la pompe, au moment de la mise en communication de l'espace neutre avec l'aspiration, au lieu que ce soit de l'air.

— Le travail de la pompe du Behrens se calcule, comme pour toute autre pompe, d'après la profondeur du puisard et la hauteur à laquelle il s'agit d'élever l'eau. — Le volume d'eau théoriquement aspirée à chaque demi-tour par une pompe Behrens, est égal au volume engendré par le profil a_1 de la came supérieure, par exemple, depuis la position 1 jusqu'à la position 6. Comme ce volume est égal à une des moitiés de la couronne cylindrique dans laquelle circule chaque came, le débit *théorique* de la pompe par tour est égal à cette couronne toute entière. On ne tient pas compte de l'espace neutre qui reste toujours plein.

N° 65_8 Résumé des principales expériences faites sur le Behrens. — La valeur définitive du Behrens ne pourra être péremptoirement établie que par des essais comparatifs entre des rotatives de ce système et des machines ordinaires, placées les unes et les autres dans les conditions les plus favorables de rendement, conformément aux principes de la thermodynamique. Malheureusement on ne s'est livré jusqu'ici qu'à des expériences très-incomplètes. Elles ont été entreprises par la Marine à Paris, Indret, Toulon, Cherbourg et Brest, sur des rotatives commandant des pompes. Nous nous bornerons à résumer succinctement les résultats relatifs à ces expériences.

I. — *Expériences de Paris faites par M. l'ingénieur Mangin.* —L'appareil essayé fonctionnait au Woolf avec évacuation à l'air libre, et commandait une pompe à eau. Les dimensions des pièces fondamentales étaient les suivantes :

Cylindre d'admission et pompe..	grand diamètre des cames	0^m,270
	petit d° d°	0^m,135
	épaisseur des cames	0^m,055
Cylindre de détente	grand diamètre des cames.	0^m,270
	petit d° d°	0^m,135
	épaisseur des cames	0^m,165
	rapport du volume du cylindre de détente au volume du cylindre d'admission.	3,000

Voici les résultats moyens des observations :

Pression effective s'opposant à la sortie de l'eau de refoulement en *cm* de mercure	229^{cm},6
Pression absolue de la vapeur à l'entrée du cylindre d'admission. . .	3^{at},9
Nombre de tours moyen à la minute	272^t,6
Débit mesuré de la pompe *par tour* à la vitesse ci-dessus.	1^{lit},9494
Puissance théorique de la machine, déduite en admettant la loi de Mariotte, en chevaux de 75 km.	5^{ch},61
Puissance de la machine mesurée en eau montée par la pompe. . . .	3^{ch},69
Rapport de cette puissance à la précédente	0,656

Les résultats relatifs à la consommation de vapeur et de charbon ne sont pas à considérer. Car, d'après l'expérimentateur lui-même, ils ont été relevés dans

des conditions inacceptables. Il reste à ajouter aux chiffres que nous venons de donner les conclusions suivantes :

Les fuites de vapeur paraissent être nulles. Les espaces neutres sont assez considérables, car ils s'élèvent à près de 0,10 du volume théorique du cylindre, mais nous avons vu au n° 65_4, que ce n'est pas un obstacle sérieux à une utilisation satisfaisante de la machine fonctionnant avec détente. Le rendement total de l'appareil, 0,656, qui peut paraître faible au premier abord, ne l'est pas en réalité, car ce chiffre est le produit du rendement du moteur par le rendement de la pompe. En supposant ces deux rendements égaux, leur valeur serait de 0,8 au minimum.

II. ***Expériences de Toulon.*** — Ces expériences ont été faites comparativement entre le type Behrens, représenté au 1/6, *fig.* 47, devant donner un débit de 6.000 litres par heure à la vitesse de 300 tours par minute, et un petit cheval réglementaire du type n° 2 devant donner un débit de 5.634 litres par heure, à la vitesse de 70 tours par minute.

Ces deux appareils ont été mis exactement dans les mêmes conditions de fonctionnement, c'est-à-dire qu'ils recevaient leur vapeur de la même chaudière, et y refoulaient de l'eau puisée dans une bâche commune. D'ailleurs ils travaillaient à pleine introduction, et l'évacuation avait lieu à l'air libre.

— Dans les essais, les deux appareils ont débité à peu près la même quantité d'eau à l'heure pour leur régime normal. Mais le Behrens pouvant dépasser ce régime sans inconvénient, faculté dont ne jouit pas le petit cheval, on était à même d'augmenter son débit. Sa vitesse a pu ainsi être portée jusqu'à 400 tours par minute. Ajoutons qu'on n'a pas pu la faire descendre au-dessous de 40 tours.

Le rendement de volume du petit cheval, c'est-à-dire le rapport du volume engendré par le piston de la pompe au volume d'eau réellement refoulé, a varié de 98 à 152 pour 100; il diminuait avec la pression à la chaudière et la vitesse de fonctionnement. Le chiffre 152 > 100 s'explique par ce fait, que la pompe joue en quelque sorte le rôle de bélier hydraulique.

Le rendement de volume de la pompe du Behrens, c'est-à-dire le rapport de son débit théorique (65_7) au volume d'eau réellement refoulé, a varié de 42 à 78 pour 100. Ce rendement était d'autant plus élevé que la pression était plus basse dans la chaudière. Il augmentait pareillement quand la vitesse s'accélérait. Il résulterait de là qu'il y a, en principe, avantage à faire fonctionner le Behrens à de très-grandes vitesses.

— Pour le rendement de travail et la consommation de combustible du petit cheval et du Behrens, nous ne citerons que des résultats comparatifs; car les résultats *absolus* nous ont paru ne présenter aucun degré de certitude, et être entachés d'erreurs considérables, mais heureusement sans influence notable pour la comparaison dont il s'agit.

Le cheval effectif de 75^{km}, c'est-à-dire évalué en eau refoulée, a consommé le même poids de vapeur dans les deux appareils pour une résistance au refoulement de 2^{at},25 absolues; mais pour une résistance de 4^{at}, il a coûté avec le Behrens près du double de la dépense afférente au petit cheval.

— L'encombrement et le poids des appareils alimentaires ont, pour les ma-

chines destinées à fonctionner à bord des bâtiments, une importance capitale. Sous ce double point de vue, le Behrens présente des avantages incontestables. L'appareil de ce système qui a été expérimenté, pesait 126 kilogrammes ; il occupait un volume de 0m. cub,144. Le petit cheval employé pesait 368 kilogrammes, et avait un encombrement de 0m. cub,765.

Les petits chevaux réglementaires fonctionnent parfaitement quand la pression est un peu élevée ; mais il est difficile de les mettre en marche quand la tension aux chaudières est inférieure à 60cm. — L'appareil Behrens n'a jamais hésité à partir pendant toute la durée des expériences. Il tourne pour une pression de 38cm seulement, alors que le petit cheval est incapable de fonctionner. C'est là un avantage très-sérieux que six semaines de fonctionnement ne lui ont pas enlevé.

III. *Expériences d'Indret.* — Ces expériences ont été faites, comme celles de Toulon, sur un appareil Behrens du type *fig.* 47. Cet appareil prenait sa vapeur dans une chaudière à haute pression. L'eau était puisée dans une bâche à l'air libre, et refoulée dans un réservoir contenant de l'air comprimé maintenu à 2at,8 absolues, tension des chaudières à moyenne pression de la flotte. — Voici les principaux résultats obtenus :

On a d'abord fonctionné avec une pression à la chaudière de 5at,52 absolues. Il a été ainsi possible, en faisant varier l'ouverture de l'organe de prise de vapeur, d'obtenir 200, 250, 300, 350, 400 tours par minute et au delà. En ouvrant en grand, la rotation devenait si rapide qu'il était impossible de compter les tours même approximativement. Mais d'après le débit observé, on a dû faire 700 tours. — La quantité d'eau refoulée était très-sensiblement proportionnelle au nombre de tours. Elle s'est élevée à environ 1.800 litres par heure quand la machine faisait 100 tours à la minute, et à 7.200 litres pour 400 tours. Cela faisait 0lit,300 par tour, tandis que le volume développé par les cames était égal à 0lit,379. Le rendement de volume était donc de 0,8.

La quantité de vapeur dépensée par heure augmentait beaucoup moins rapidement que le nombre de tours. Dans les essais où ce nombre de tours a pu être compté, cette quantité est représentée avec une assez grande exactitude par l'expresion 82kg + 0kg,03 × *le nombre de tours*, ce qui donne :

pour 200 tours à la minute	. . . .	88kg
300	d°	91kg
400	d°	94kg

Toutefois, remarquons que les dépenses de vapeur sont extrêmement exagérées, et que c'est surtout leur rapport qu'il faut considérer ; car les expériences avaient lieu en plein air, par un temps humide et froid et sans aucune enveloppe aux tuyaux et à la machine.

D'après ce qui précède, la quantité d'eau refoulée par kilogramme de vapeur dépensé, a varié comme il suit avec le nombre de tours :

à 200t, 1kg de vapeur refoulait	. . . .	40lit.,9
300t, 1kg	d°	59lit.,3
400t, 1kg	d°	77lit.,8

Ainsi qu'on devait s'y attendre, l'utilisation a augmenté très-sensiblement avec la vitesse; mais elle a toujours été très-médiocre, quoique bien supérieure à celle du petit cheval comparé.

Afin de se tenir dans les mêmes conditions qu'à bord des navires avec appareils évaporatoires à moyenne pression, on a ensuite ramené la tension de la chaudière à 2^{at},8 absolues, comme dans le réservoir où la pompe refoulait son eau. Sous le rapport de l'utilisation, cet essai a donné les mêmes résultats que les précédents.

— En faisant fonctionner dans les mêmes conditions un petit cheval réglementaire du type n° 2, on a réalisé 80 tours à la minute, en refoulant 7.381 litres d'eau par heure pour une dépense de 151 kilogrammes de vapeur, ce qui ne fait que 49 litres par kilogramme de vapeur.

IV. *Expériences de Cherbourg.* — Ces expériences ont été entreprises sur l'appareil d'épuisement de cale du vaisseau *le Solférino*, dont la description et les conditions de fonctionnement ont été données au n° 64_3, et dont voici les principales dimensions :

CYLINDRES A VAPEUR.	Diamètre	0^m,76
	Longueur de chaque cylindre	0^m,45
	Volume de vapeur introduit par tour dans les deux cylindres	$0^{m.cub}$,344
	Diamètre du tuyau d'introduction	0^m,13
	Diamètre du tuyau d'évacuation	0^m,22
POMPE	Diamètre	0^m,78
	Longueur	0^m,50
	Volume engendré par l'aspiration des cames à chaque tour	$0^{m.cub}$,212
	Diamètre du tuyau d'aspiration	0^m,40
	Diamètre du tuyau de refoulement	0^m,40

Ajoutons que le tuyau d'aspiration de la pompe vient puiser l'eau auprès de la carlingue centrale. — De son côté, le tuyau de refoulement monte obliquement, par un coude très-doux, jusqu'à la batterie basse du vaisseau. Il débouche à travers une boîte à soupape située à 8^m,50 au-dessus de l'orifice d'aspiration, et qui, malheusement, force l'eau à sortir en faisant un coude à angle droit.

La cale remplie jusqu'à la hauteur des parquets de la machine, fut vidée en quatre minutes. — On procéda ensuite à la mesure précise du débit de la pompe. A cet effet, on fit arriver l'eau dans un bassin de radoub rempli préalablement jusqu'à la première banquette. Cette évacuation nécessitant un tuyau en prolongement de celui du navire, l'orifice d'écoulement se trouvait, en somme, à 9^m,50 au-dessus de la prise d'eau de la cale. — L'expérience dura deux heures, et fournit les résultats suivants :

Pression effective aux chaudières	150^{cm}
Nombre de tours	85
Débit de la pompe par heure, y compris 10 pour 100 ajoutés pour tenir compte du coude brusque que l'eau traverse à sa sortie du navire	$1.100^{m.cub}$
Consommation de charbon par heure et par mètre cube d'eau élevé à 10 mètres	0^{kg},800

Le débit de la pompe a été inférieur de 700 mètres cubes au chiffre mentionné au cahier des charges. C'est un mécompte qui provient simplement de ce que les cames à vapeur n'ont pas été assez largement proportionnées.

V. *Expériences de Brest.* — Des expériences ont été entreprises au port de Brest pour comparer les machines alimentaires du système Behrens avec les machines alimentaires de l'ancien type réglementaire connues sous le nom de petits chevaux. Ces essais, commencés en 1874, continués en 1875, ont été terminés en 1877.

La conclusion de ces expériences est une infériorité marquée des Behrens sur les petits chevaux, tant au point de vue du débit réel par rapport au débit prévu, qu'au point de vue du travail utilisé par kilogramme de vapeur dépensée.

Nous ne citons ces expériences que pour mémoire, car les Behrens essayés étaient dans de mauvaises conditions de fonctionnement; le rapport signale, en effet, des fuites au repos de $2^{kg},4$ de vapeur par minute pour le Behrens n° 3, et de 4^{kg}, pour le Behrens n° 4. D'autre part, les résultats des essais présentent des anomalies inexplicables: ainsi, le Behrens n° 3 dépense 234^{kg} de vapeur par heure à l'allure de $198^t,4$, tandis qu'il n'en dépense que 221^{kg} à l'allure de $253^t,9$ dans les mêmes circonstances d'aspiration et de refoulement. Le Behrens n° 2 dépense $122^{kg},3$ de vapeur à l'allure de $226^t,7$, et seulement $114^{kg},2$ à l'allure de $276^t,5$. — On comprend qu'en présence de ces résultats, dont les anomalies ne peuvent pas être expliquées par les fuites de vapeur, toute nouvelle conclusion doit être ajournée; nous nous en tiendrons par suite aux conclusions des essais cités précédemment.

Conclusions générales tirées des expériences. — Dans de bonnes conditions de fonctionnement, le Behrens est, sous tous les rapports, supérieur aux petits chevaux. Néanmoins, dans son état actuel, c'est un appareil dépensier. Mais en y apportant les mêmes perfectionnements (n° 64_2), au point de vue thermodynamique, qu'aux meilleures machines ordinaires d'aujourd'hui, nous avons la ferme conviction qu'il deviendrait aussi économique que ces dernières.

N° 66. — 1. Tuyautage général pour épuisement de cale. — 2. Pompes à vapeur diverses pour incendie. — 3. Treuils et cabestans à vapeur. — 4. Appareils à vapeur pour manœuvrer le gouvernail. — 5. Aération des chambres de machines.

N° 66_1 Tuyautage général pour épuisement de cale. — Ce tuyautage comprend :

1° Pour les pompes mues par la machine, un tuyau d'aspiration et un tuyau de refoulement. Le premier est muni d'une crépine (n° 65_2) ; le second est muni d'un robinet obturateur, et débouche presque toujours au-dessous de la flottaison.

2° Pour l'injection à la cale, applicable avec les condenseurs par mélange, un seul tuyau avec crépine et robinet obturateur, débou-

chant dans l'intérieur du condenseur, mais sans passer par l'injection ordinaire pour ne pas obstruer cet organe.

3° Pour les pompes de circulation, un tuyau avec crépine et robinet obturateur, s'embranchant sur l'aspiration de la pompe de circulation.

4° Pour les pompes spéciales de cale, quel que soit leur système, petit cheval, Behrens, pompe centrifuge ou giffard, un tuyau d'aspiration avec crépine, et un tuyau de refoulement avec robinet obturateur, mais débouchant souvent au-dessus de la flottaison.

Fig. 12, Pl. VIII La *fig.* 12, *pl.* VIII, dont la description se trouve au n° 60_3, représente la disposition complète du tuyautage qui nous occupe pour le cas où le bâtiment est partagé en plusieurs compartiments étanches, afin qu'on puisse vider à volonté, l'un quelconque de ces compartiments.

Au lieu de vider la cale, il peut être utile de la remplir pour faire couler le bâtiment, soit dans le cas d'incendie dans un port ou sur une côte, soit dans le cas où le bâtiment est désemparé et à la disposition d'un ennemi. — Sur les anciens navires, aucune disposition spéciale n'avait été prise dans ce but; on pouvait seulement faire sauter les brides des prises d'eau, ou bien démonter les portes des bâches et ouvrir l'obturateur de décharge. — Avec les pompes de circulation munies d'une aspiration à la cale, il suffit d'ouvrir le robinet de cette aspiration en même temps que la prise d'eau. Sur quelques bâtiments, outre cette aspiration, la cale peut être mise en communication avec la mer par une tubulure munie d'un gros robinet et placée sur le tuyau de décharge. On a ainsi pour chaque pompe de circulation deux larges voies au moyen desquelles la cale peut être remplie en un temps très-court.

N° 66_2 Pompes à vapeur diverses pour incendie. — Les pompes à vapeur employées dans la marine sont fixes, flottantes ou locomobiles.

Pompes à vapeur fixes. — A bord, les petits chevaux du type ordinaire ou du type Behrens, sont toujours munis d'un tuyau de refoulement qui s'élève jusqu'au pont; des tubulures sont placées sur ce tuyau à la hauteur du faux pont et de chaque batterie, pour recevoir les manches d'incendie. Les Behrens et les pompes centrifuges employées comme pompe de cale, peuvent également avoir une tubulure de refoulement pour l'incendie, et présentent cet avantage de permettre de jeter sur le foyer d'incendie des masses d'eau considérables. Enfin, la pompe *Leed* et *Learned* (n° 63_6) peut être utilisée dans le même cas.

Sur quelques bâtiments américains, on rencontre, employée comme petit cheval, ou comme pompe de cale, et pouvant par suite servir contre l'incendie, la pompe à vapeur *Tangye Brothers et Holman* qui est représentée par la *fig.* 8, *pl.* IX. Cette pompe n'a pas de transmission de mouvement par bielle et manivelle ; le piston à vapeur P, et le piston à eau sont montés sur la même tige T ; les couvercles en regard des deux cylindres, l'un à vapeur C et l'autre à eau, font partie d'une même pièce en fonte F, qui sert d'entretoise, de sorte que les cylindres sont parfaitement reliés l'un à l'autre. — La pompe à eau ne présente rien de particulier ; elle est à double effet. Fig. 8, Pl. IX.

Le tiroir D, placé sur le dos du cylindre moteur C, est à double coquille ; son mouvement est alternatif intermittent. Chacune des courses de ce tiroir précède la course correspondante du piston P, et se fait en sens contraire de cette dernière. — Aux deux extrémités de la boîte à tiroir O, sont rapportés deux petits cylindres *c*, *c'*, recevant des pistons sans garniture *p*, *p'*, qui déterminent le mouvement du tiroir D. Ces pistons sont venus de fonte avec une tige commune *t*, qui forme cadre en son milieu pour embrasser le tiroir D et le conduire. Ces pistons *p*, *p'*, ont la forme de pistons plongeurs à fourreau ; chacun d'eux porte, dans son fond, un petit trou 1, et à la génératrice inférieure, un orifice 2. Lorsque le piston *p* ou *p'* est à fin de course dans le fond de son cylindre, l'orifice 2 communique avec un canal 3 qui aboutit à la paroi, et en dedans, d'un petit cylindre c_1, ou c'_1, pratiqués d'un côté dans le fond et de l'autre dans le couvercle du cylindre moteur C. Les cylindres c_1 et c'_1, sont munis de piston Q, Q' dont les tiges *q*, *q'*, peuvent faire saillie dans l'intérieur du cylindre C. Des canaux particuliers 4, 4, font communiquer les fonds des cylindres c_1, c'_1, avec l'intérieur de la boîte à tiroir O.

Voici comment fonctionne cet appareil. Le piston moteur P descendant, par exemple, l'introduction du cylindre C est ouverte pour le haut, par l'orifice *o'*, et l'évacuation est ouverte pour le bas par l'orifice *o*. Le tiroir D est au haut de course, et les pistons Q, Q', occupent la position de la figure. — Dans son mouvement, vers la fin de sa course, le piston P rencontre la tige *q*, et repousse le piston Q jusqu'au fond de son cylindre. Ce piston démasque alors le canal 3, et bouche au contraire le canal 4. La vapeur qui est dans le fond du cylindre *c*, passe par le canal 3 devenu libre, et par l'espace annulaire ménagé autour de la tige *q*. Cette vapeur s'évacue ensuite par l'orifice *o*. La dépression que produit cette évacuation derrière le piston *p*, ne peut être contre-balancée par l'introduction de vapeur qui se fait par le trou 1, dont la section est trop faible, et la vapeur de la boîte à tiroir repousse le piston *p* dans le fond de son cylindre. Ce piston entraîne le tiroir D au bas de sa course, et la distribution de vapeur pour le cylindre C est changée.

Dans le déplacement du tiroir D et de ses pistons moteurs, le piston *p* met son orifice 2 en communication avec le canal 3 ; la vapeur afflue sur l'avant du piston Q, et ce piston reste immobile au fond de son cylindre. Pour le haut, le piston *p'* bouche le canal 3 ; la vapeur qui est en dedans du piston Q' s'évacue par l'espace annulaire ménagé autour de la tige *q'*, et la vapeur de la boîte à tiroir pénétrant dans le fond du cylindre c'_1 par le canal 4, le piston Q' est repoussé ; sa tige vient faire saillie dans l'intérieur du cylindre C, et ce

piston Q′ bouche l'orifice 3. — Le petit trou 1 du fond des pistons p, p', permet à la vapeur de la boîte à tiroir d'établir l'égalité de pression sur les faces de ces pistons, afin que le tiroir D ne soit pas manœuvré accidentellement, si les pistons Q, Q′ n'obturent pas bien exactement les orifices 3.

Un changement de distribution semblable s'effectue quand le piston P arrive près du haut de sa course.

Le cadre du tiroir D porte deux oreilles qui emprisonnent un levier l, dont l'axe horizontal porte, à l'extérieur, un levier L pour manœuvrer le tiroir à la main et mettre en marche. — On règle la quantité de vapeur dépensée au moyen de la soupape v. L'évacuation se fait par le canal E et le tuyau E′. — Cette machine a l'inconvénient de fonctionner à pleine introduction, et d'occasionner à chaque coup de piston la dépense inutile, au point de vue du travail, du volume de vapeur que renferme le cylindre c ou c'. Elle présente une particularité qu'il est bon de noter : le conduit d'évacuation E′, débouche pendant la marche, dans le tuyau d'aspiration de la pompe; ce dernier tuyau fait par suite l'office d'un condenseur; mais il est probable que le rendement de la pompe en est diminué.

Pompe à vapeur Hayward et Teyler. — La pompe ne présente rien de particulier; elle est à double effet : le piston est plein avec garnitures, les clapets sont en caoutchouc.

Fig. 9, Pl. IX. Le moteur à vapeur, *fig.* 9, *pl.* IX, est composé de trois cylindres logés l'un dans l'autre. Le cylindre proprement dit C, est fixe. Le deuxième cylindre P, logé dans le premier, fait l'office de piston et reçoit la tige T qui conduit le piston de la pompe. Le troisième cylindre D, logé dans le second, fait l'office de tiroir. Le cylindre P vient buter à ses points morts, contre les rondelles en caoutchouc 1, 1, qui amortissent le choc et réservent un espace libre pour la vapeur d'introduction. Les courses du cylindre-tiroir D, sont également limitées dans le piston P, par les rondelles en caoutchouc 2, 2; ce tiroir est complétement libre. Les deux cylindres mobiles sont guidés en ligne droite par des clavettes longitudinales.

Sur le cylindre-enveloppe C, se trouvent deux tubulures : l'une V pour l'introduction, l'autre E″ pour l'évacuation. — La tubulure V aboutit à une cavité V′ pratiquée dans la paroi du cylindre C, et jusqu'aux génératrices intérieures de ce cylindre. Sur le piston P, se trouve une cavité semblable, qui perce les génératrices extérieures de ce piston, et qui communique avec la capacité V′, quelle que soit la position du piston P dans le cylindre C. La cavité du piston P est prolongée, au-dessus, par un canal v, qui conduit la vapeur dans la coquille v_1 du tiroir D. Dans l'épaisseur du piston P, sont pratiqués deux orifices o, o, qui aboutissent d'une part aux extrémités de ce piston, et d'autre part à sa paroi intérieure; la coquille v_1 met alternativement chacun des orifices o en communication avec l'arrivée de vapeur v, ce qui détermine l'introduction dans le cylindre C.

L'évacuation se fait par les mêmes orifices o, o, mis en communication avec les canaux o_1, o_1, pratiqués dans le tiroir D. Ces derniers débouchent alternativement dans l'orifice E, pratiqué dans l'épaisseur de la paroi du piston P; cette cavité est toujours en communication avec la cavité E′ du cylindre C, et

le conduit E' amène la vapeur d'évacuation dans le condenseur ou dans l'atmosphère.

Le changement de distribution de la vapeur s'effectue de la manière suivante : De la cavité V' partent deux petits canaux 3, 3, qui viennent aboutir à la paroi intérieure du cylindre C; des fonds intérieurs du piston P partent les canaux 4, 4, qui viennent aboutir à la paroi extérieure de ce piston, et qui sont mis en communication, à tour de rôle, avec les canaux 3, 3, lorsque le piston P arrive à fin de course. D'autre part, de la cavité d'évacuation E', partent deux canaux 5, 5, qui aboutissent à la paroi intérieure du cylindre C; des fonds intérieurs du piston P, partent les canaux 6, 6, qui viennent aboutir à la paroi extérieure de ce piston, et qui sont mis alternativement en communication avec les canaux 5, 5, lorsque le piston P est à fin de course. Les communications des canaux 4 et 3, et des canaux 6 et 5 sont alternées, de manière à déterminer l'introduction pour une des faces du cylindre-tiroir D, et l'évacuation pour l'autre face.

Sur la figure, le piston P approche de son point mort haut; le tiroir D est au bas de sa course dans le piston P, de sorte qu'il y a introduction pour le bas du cylindre C et évacuation pour le haut de ce cylindre. A ce moment, le piston P continuant sa marche, les canaux 4 et 3 du bas vont être mis en communication, et la vapeur agira sur la face du bas du tiroir D; les canaux 5 et 6 du haut vont également être mis en communication, et la vapeur qui est dans le haut du piston P va s'évacuer. Le tiroir D va se mettre en marche du bas vers le haut, et l'introduction du cylindre C sera changée; par suite, le piston P fera sa course descendante. Un changement semblable de distribution s'effectue au point mort bas du piston P.

Ce moteur a l'avantage d'une transmission directe; mais il a l'inconvénient d'exiger un cylindre très-long, eu égard à la course du piston, et d'être par suite exposé à des pertes considérables par refroidissement. Enfin, ce moteur ne saurait être économique sans le système Wolf; il faudrait employer sa vapeur d'évacuation à faire marcher le piston à vapeur d'une deuxième pompe.

Pompe à vapeur de J. Stannah, de Liverpool. — Le cylindre à eau est placé au-dessus du cylindre à vapeur, comme dans nos petits chevaux; la pompe est aspirante et refoulante; et comme le travail de refoulement est généralement bien supérieur au travail d'aspiration, le piston moteur est à fourreau simple du côté de la pompe, et le prolongement de ce fourreau forme le piston plongeur de cette pompe. Le tiroir du cylindre moteur est en coquille simple, et il a la forme d'un secteur oscillant sur un axe perpendiculaire à celui du cylindre. Les orifices ont la même forme. Sur l'axe du tiroir est monté un levier portant à son extrémité, un tourillon qui s'engage dans le trou central d'un volant. Sur le plongeur de la pompe, entre les deux cylindres, est monté un tourillon qui s'engage dans un trou excentré du volant précité. Dans le mouvement de va-et-vient du piston, ce deuxième tourillon décrit une course rectiligne alternative, d'où résulte un mouvement d'oscillation du levier qui porte le premier tourillon, et par suite du tiroir lui-même. En réalité, dans ce mouvement d'oscillation, le volant tourne autour de son axe. Le tiroir est à fin de course quand ce tourillon est à mi-course, et inversement. Les passages du

tiroir à mi-course sont excessivement rapides, et en donnant un léger découvrement au tiroir, les avances sont suffisantes, puisqu'il n'existe aucune articulation pour la transmission de mouvement des pistons. Le volant est nécessaire pour aider à franchir les points morts du tiroir.

Cette pompe est extrêmement simple comme disposition de mécanisme, et son encombrement est très-faible.

Pompes flottantes. — Quelques petits canots sont munis d'une pompe Behrens, que la machine met en mouvement après que l'hélice a été désembrayée. Ces pompes sont utilisées comme appareils d'épuisement, aussi bien que comme pompes à incendie. Nous les avons décrites aux n°s 64 et 65.

Pompe à vapeur flottante de M. Jay. — Cette pompe est en service au port de Brest; elle est montée sur un chaland. Le moteur comporte deux cylindres à vapeur horizontaux, placés tribord et babord du plan diamétral, avec les axes parallèles à la quille. Sa machine fonctionne à haute pression sans condensation. Les bielles sont directes; elles agissent sur un même arbre transversal supporté par quatre paliers placés très-près des cylindres. Les manivelles sont calées à 90° sur les extrémités de l'arbre moteur, en dehors des paliers.

Les tiges de piston sortent des cylindres, suivant leur axe, du côté opposé à l'arbre; chacune se fixe sur une traverse conduite en ligne droite par des glissières. En dehors de ces dernières, la traverse porte, du côté en abord, le tourillon de la grande bielle, et le levier d'en dedans conduit une pompe alimentaire à piston plongeur. Les deux grandes bielles sont par suite extérieures aux cylindres. Les tiroirs sont placés sur les côtés intérieurs des cylindres, et sont conduits par des excentriques à calage fixe; par suite, l'arbre ne peut tourner que dans un sens.

Les pompes, au nombre de deux, sont à double effet et du système ordinaire à piston plein; les axes de ces pompes sont dans le prolongement de ceux des cylindres, derrière ces derniers, de l'autre côté de l'arbre, et les corps de pompe sont reliés aux cylindres moteurs par les glissières. Les tiges de piston viennent se fixer sur les traverses des pistons à vapeur.

Les clapets sont rectangulaires et en caoutchouc. Les corps de pompe n'ont pas de communication; chaque pompe possède sa prise d'eau à la mer et une boîte de refoulement. Cette boîte est surmontée d'un grand récipient d'air, à la base duquel se trouve un large manchon en bronze portant quatre tubulures également espacées, sur lesquelles se montent les manches de refoulement. Chaque tubulure est munie d'un robinet. L'appareil total peut par suite recevoir huit manches de refoulement. — Un robinet d'air est placé à chacune des extrémités du corps de pompe, et ces robinets sont ouverts lorsque la machine est employée à la propulsion du chaland.—Chaque tuyau d'aspiration est muni d'un robinet obturateur, et porte une tubulure qui permet d'employer la pompe comme appareil d'épuisement; dans les circonstances ordinaires, cette tubulure est fermée par un bouchon taraudé, avec joint étanche.

Le chaland est à hélice, et ce propulseur est actionné par l'arbre moteur au moyen d'un système d'embrayage. L'arbre de l'hélice, qui est perpendiculaire

à l'arbre moteur, passe entre les deux corps de pompe et les cylindres moteurs; il est supporté par deux paliers, dont l'un forme butée. Sur l'extrémité avant de cet arbre, est claveté un pignon conique en bronze, qui engrène avec deux roues folles montées sur l'arbre moteur. Un manchon d'embrayage à empreintes, placé entre ces deux roues, permet de donner alternativement à l'une ou à l'autre, le mouvement de rotation de l'arbre, et par suite de marcher à volonté en avant ou en arrière. Lorsque la machine fonctionne pour conduire les pompes, le manchon d'embrayage est placé entre les deux roues coniques, et celles-ci restent libres sur l'arbre. La manœuvre de l'embrayage se fait à l'aide d'un petit volant à moyeu fileté, qui actionne une bielle de rappel; on vire au besoin l'arbre de l'hélice, pour mettre les empreintes de l'embrayage en coïncidence.

La chaudière est du système *Belleville* (n° $61_{4 et 5}$), à deux fourneaux; elle possède un giffard pour l'alimentation pendant les arrêts. L'eau d'alimentation est prise dans un réservoir où puisent également les pompes alimentaires. L'eau de la cale s'enlève au moyen d'un éjecteur-pompe, comme ceux des canots.

Pompe flottante de Merry-Weather. — La pompe est du système décrit comme pompe locomobile du même auteur, mais elle est double. Le spécimen le plus remarquable est celui qui a été construit pour le port de *Sunderland*, et qui est monté sur un canot à double hélice de 12^m de long, $2^m,90$ de large et $1^m,45$ de creux, avec un tirant d'eau moyen de $0^m,68$. Ce canot est pourvu de machines motrices indépendantes de la pompe. A l'avant est une cabine pour trois ou quatre hommes; à l'arrière se trouve une bobine à manettes, sur laquelle on peut enrouler une très-grande longueur de tuyaux. Des caisses à eau pour la chaudière sont installées sous le pont et sous les banquettes.

Diamètre des cylindres moteurs	$0^m,225$
Diamètre des cylindres des pompes	$0^m,165$
Course commune des pistons.	$0^m,610$
Débit par minute	$5^{m cub},000$

Les clapets sont en bronze, avec garniture en caoutchouc retenue par des vis en cuivre; leurs siéges n'ont ni cloison ni grillage, afin d'éviter l'engorgement lorsque la pompe est employée comme appareil d'épuisement.

Pompe à vapeur locomobile de M. Mangin. — Cette pompe, construite par M. *Petau*, à *Paris*, est représentée par la *fig.* 10, *pl.* IX, dont voici la légende :

Fig. 10, Pl. IX.

Vue 1° Élévation de côté, avec déchirure dans le réservoir d'eau.
Vue 2° Coupe verticale par l'axe d'un cylindre.
Vue 3° Coupe verticale par l'axe d'un corps de pompe.

A arbre de la machine, reposant sur trois paliers que forment les bâtis, et qui sont venus de fonte avec les cylindres.

A_f tubulure d'aspiration de la pompe; l'extrémité est filetée pour recevoir la manche d'aspiration pendant le fonctionnement, ou bien un bouchon quand la pompe est au repos. Cette tubulure d'aspiration est commune aux deux corps de pompe.

A' chambre d'aspiration commune aux deux corps de pompe et dans laquelle débouche la tubulure A_f.

B grandes bielles avec articulation simple au pied, et chape à la tête.

C cylindres à vapeur à fourreau au nombre de deux, dont les pistons conduisent chacun une pompe.
c excentrique et bielle conduisant la pompe alimentaire P_e.
D_f trois tubulures de refoulement de la pompe communiquant avec la chambre de refoulement D'_f et sur lesquelles se vissent les manches. Chacune de ces tubulures est munie d'un robinet obturateur.
D'_f chambre de refoulement commune aux deux corps de pompe.
E tuyau d'évacuation des cylindres, débouchant dans la cheminée pour activer le tirage. Ce tuyau est terminé par une tuyère.
e excentriques conduisant les tiroirs.
F cheminée à rabattement.
f tuyau muni d'un robinet, et terminé par une tuyère pour injecter directement de la vapeur dans la cheminée lors de l'allumage.
G bâtis en tôles et cornières, formant le chariot sur lequel sont montés les pompes et leurs moteurs.
H chaudière du système *Belleville* (n° $61_{4 \text{ et } 5}$).
h épurateur de vapeur de la chaudière.
H' réservoir d'eau d'alimentation pour la chaudière.
h' giffard pour alimenter pendant les arrêts.
I cylindre-niveau de la chaudière.
i robinet régulateur de l'alimentation.
K soupape de sûreté, chargée par un ressort à boudin agissant à l'extrémité d'un levier.
L deux caisses destinées à contenir les ustensiles et accessoires de l'appareil. L'une de ces caisses est au-dessous du chariot ; l'autre est placée au-dessus de la machine.
l lances d'incendie, à leur poste de route sur la caisse supérieure L : elles sont au nombre de quatre, deux de chaque bord.
M manivelles des vilebrequins de l'arbre de couche.
N volant pour régulariser le mouvement.
O boîtes à tiroir placées sur les côtés extérieurs des cylindres.
P pistons à vapeur à fourreau.
p pistons de pompe, du système à plongeur. Ces pistons sont conduits par deux tiges T fixées sur les pistons moteurs.
P_a corps de pompe à double effet, au nombre de deux, faisant face aux cylindres.
P_e pompe alimentaire, à piston plongeur et à simple effet, conduite par la machine.
Q tiges des tiroirs.
q tiges ou bielles d'excentrique des tiroirs.
R roues à larges jantes dont les essieux supportent le chariot par l'intermédiaire des ressorts *r*.
r ressorts à lames dont il est parlé en R.
R' réservoir d'air pour le refoulement des pompes P_a. Ce réservoir est commun aux deux pompes.
S freins pour rendre les roues immobiles quand les pompes doivent fonctionner.
s Vérins à vis, qui permettent de placer le chariot horizontal, et qui remplacent les ressorts *r* pour supporter le chariot quand la machine fonctionne. L'emploi de ces vérins donne plus de fixité à l'appareil, et fait éviter les vibrations qui se produiraient infailliblement si le chariot restait suspendu sur les ressorts *r*.
T tiges de piston à vapeur dont les prolongements servent de tiges aux pistons des pompes.
t contre-tiges des pistons des pompes.
V tuyau de vapeur des cylindres. La soupape d'arrêt qui sert de valve de prise de vapeur, est placée sur le côté de l'épurateur *h*, qui, sur la figure, masque cette soupape.
V' communication du tube diviseur de la chaudière avec l'épurateur *h*.
1,1' tuyaux d'aspiration au réservoir H' pour la pompe alimentaire P_e et pour le giffard *h'*.
2,2' tuyaux de refoulement dans le cylindre-niveau I, pour la pompe alimentaire et pour le giffard.

2″ tuyau de prise de vapeur du giffard.
3, 3′ réservoir d'air et ressort du clapet de trop-plein de la pompe alimentaire.
4 tuyau de prise de vapeur du cylindre-niveau I.
5 boîte d'alimentation faisant communiquer le bas du cylindre-niveau avec le collecteur inférieur de la chaudière.
5′ robinet de purge de la boîte 5, servant aussi pour vider la chaudière.
6 manomètre de la chaudière et tuyau de prise de vapeur de cet instrument.
7 tuyau et robinet de purge de l'épurateur *h*.
8 robinet de purge de la boîte à soupape de sûreté K.
9 tubulure de remplissage du réservoir d'eau H′.
10 robinet de vidange du réservoir H′.
10′ portes de visite ou de nettoyage du réservoir H′.
11 manomètre de la pompe, communiquant avec le réservoir d'air R′.
12 soupape de sûreté des pompes.
13 soupape d'introduction d'air à l'aspiration des pompes, lorsque ce fluide n'est pas en quantité suffisante dans le réservoir R′, ce que l'on reconnaît aux grandes oscillations de l'aiguille du manomètre 11. Au repos, cette soupape est contre-tenue par un ressort que l'on desserre pour laisser introduire l'air. Une soupape semblable est placée sur la pompe alimentaire.
14 clapets des pompes : ces clapets sont circulaires, en bronze, et montés libres sur une tige qui les traverse à leur centre ; ils sont garnis d'une forte rondelle en caoutchouc. Ces clapets se lèvent parallèlement à eux-mêmes ; la tête de la tige fait butoir. Un ressort à boudin renvoie le clapet sur son siége, pour éviter les retours d'eau.
15 robinets de vidange des divers compartiments des pompes.
16 graisseur des pistons de pompe.
17 robinet permettant de s'assurer si les pompes refoulent dans de bonnes conditions.
18 caisse à charbon, placée sous le chariot, entre les roues de l'arrière, à côté du réservoir H′.
19 robinets de purge des cylindres à vapeur.
20 graisseurs divers de la machine.

La pompe à incendie locomobile système *Mangin*, est très-bien conçue et exécutée avec beaucoup de soin ; elle offre des garanties sérieuses d'un bon fonctionnement ; elle a d'ailleurs déjà rendu de notables services. Les vilebrequins de la machine étant calés à angle droit, le refoulement des pompes est très-régulier, et la pression de refoulement ne varie pas beaucoup, parce que l'un des pistons est à demi course ou à peu près, et possède son maximum de vitesse quand l'autre est au point mort. L'allumage se fait avec une grande rapidité, comme dans toutes les chaudières Belleville, et dans moins de 15 minutes la pompe est prête à fonctionner. — Voici les dimensions principales de cet appareil :

Diamètre de chacune des deux pompes.	0m,175
Course des pistons	0m,230
Diamètre fictif des cylindres moteurs	0m,248
Course des pistons	0m,230
Diamètre du tuyau d'aspiration.	0m,120
Diamètre des trois tuyaux de refoulement.	0m,060
Surface de chauffe de la chaudière Belleville.	18m.c,75
Surface de grille.	0m.c,63
Charge de la soupape de sûreté	8kg,00
Nombre de tours prévu de la machine par minute	115

RÉSULTATS DE QUELQUES ESSAIS :

I. — Le refoulement ayant lieu par deux manches de 0m,060 sur 140m de long, non terminées par les lances à incendie, le jet d'eau s'est élevé à 20m de hauteur. Pression = 8kg; nombre de tours = 76; débit mesuré = 92m.cub à l'heure.

II. — Sans manches, mais avec des ajutages à lames de 25mm d'épaisseur, le jet d'eau s'élève à 30m. Pression = 8kg,5; nombre de tours = 133; débit estimé = 160m.cub à l'heure.

III. — (*Toulon* 1869). Le refoulement ayant lieu par trois manches d'un développement total de 170m, terminées par des lances à lame de 25mm d'épaisseur, le jet d'eau s'est élevé à 28m. Pression = 6kg,5 à 7kg,0; débit = 123m.cub; puissance de la machine = 25 chevaux indiqués.

Pompe à vapeur locomobile de Merry-Wheather. — Cette pompe, comme la précédente, est montée sur un chariot qui porte aussi le moteur. — La machine est à un seul cylindre à haute pression sans condensation, et à un seul corps de pompe. Le piston à vapeur actionne directement le piston de la pompe, les deux tiges étant fixées sur la même traverse. Il n'existe ni bielle ni manivelle; la course du piston est limitée par le fonctionnement du tiroir.

Le cylindre à vapeur et la pompe sont horizontaux; ils sont fixés sur un bâti qui forme le chariot, et les glissières de la traverse servent d'entretoise pour relier les deux cylindres entre eux. Sur l'une des extrémités de la traverse, en dehors du coulisseau, se trouve une petite douille sur laquelle est clavetée la tige de piston de la pompe alimentaire; cette pompe est à piston plongeur; elle est boulonnée contre le cylindre du moteur. — La boîte à tiroir est au-dessus du cylindre et la tige du distributeur reçoit un mouvement rectiligne de direction perpendiculaire à celle de l'axe du cylindre; ce mouvement lui est donné par un doigt engagé dans une mortaise rectangulaire pratiquée à son extrémité. Ce doigt est vertical et fait corps avec une tringle horizontale, à section rectangulaire, contournée en hélice, d'un pas très-allongé, et supportée à ses extrémités par un tourillon dont l'axe est parallèle à celui des glissières. La partie de cette tringle contournée en hélice, est engagée dans une douille rectangulaire en bronze, qui est boulonnée sur la deuxième extrémité de la traverse, à l'opposé de la pompe alimentaire. Cette douille fait l'office d'un écrou que l'on pousserait suivant l'axe de son boulon. Par cette disposition, le mouvement rectiligne alternatif du piston se transforme en mouvement circulaire alternatif pour la tringle, et l'amplitude de ce dernier mouvement combinée avec la longueur du doigt conducteur règle la course du tiroir.

Le distributeur arrive par suite à la fin de course en même temps que le piston; mais son mouvement est alternatif intermittent. Le doigt conducteur a beaucoup de jeu dans la tige, et ne l'actionne qu'aux derniers instants de la course du piston moteur, pour changer l'introduction et l'évacuation.

La pompe est à double effet; elle est placée sous le siége du conducteur. Il n'existe qu'une seule tubulure d'aspiration, mais il y a deux tubulures de refoulement.

La chaudière est cylindrique verticale, munie de tubes *Field* (n° 61_2); elle est placée sur l'arrière du cylindre à vapeur, à l'extrémité du chariot. Cette chaudière est formée de deux cylindres concentriques entre lesquels existe une lame d'eau. Le haut du cylindre intérieur est plan et horizontal pour former plaque de tête et recevoir les tubes, qui s'emmanchent de haut en bas et qui sont coniques à leur ajustage. Le cylindre extérieur, plus élevé que le précédent, est terminé par une calotte sphérique qui sert de coffre à vapeur. — La cheminée est placée au centre et traverse les dômes des deux cylindres.

L'allumage des feux étant préparé avec des éclisses de sapin placées sous le charbon, et avec des tampons d'étoupe imbibée de thérébentine que l'on jette sur ce dernier au moment de l'allumage, la pression peut être obtenue en 8 ou 10 minutes. — Voici les dimensions principales de cet appareil.

Diamètre du cylindre à vapeur		$0^m,165$
Diamètre du cylindre de la pompe		$0^m,134$
Course commune des pistons		$0^m,445$
Puissance de la machine en chevaux de 75^{km}		$8^{ch},00$
Surface de grille		$0^{m.q},5410$
Section de la cheminée		$0^{m.q},0415$
Surface de chauffe	tubulaire	$7^{m.q},22$
	totale	$7^{m.q},57$
Volume d'eau		$81^{dm.cub},50$
Volume de vapeur		$123^{dm.cub},24$

Pompe à vapeur locomobile Shander et Mason. — Cette pompe ne diffère de la précédente que par quelques détails. Elle ne comporte quelquefois qu'un seul cylindre moteur et un seul corps de pompe à double effet, avec réservoir d'air au-dessus. Cette pompe est placée derrière le siège du conducteur. L'arbre a naturellement un volant pour aider à franchir les points morts. Un panier en fer, placé derrière le siège, au-dessous de la pompe, reçoit les manches d'incendie.

Pompe à vapeur Thirion. — Cette pompe est à trois cylindres, elle est montée sur un chariot à quatre roues. Les cylindres à vapeur au nombre de deux, ont leurs axes dans le même plan horizontal que les axes des trois corps de pompe; ces derniers corps sont du même jet de bronze; celui du milieu est dans l'axe de la voiture, et les cylindres à vapeur sont de chaque côté des pompes. L'ensemble de tout l'appareil est supporté par deux longerons, fortes pièces de fer à section rectangulaire placées de chaque côté de la voiture et reposant sur les ressorts; ces pièces sont réunies entre elles à leurs extrémités, par des pièces de fer également rectangulaires formant entretoises; des plaques de forte tôle boulonnées sur ces longerons, forment la plaque de fondation. L'entretoise de l'arrière sert de support à la chaudière et celle de l'avant supporte les deux paliers de l'arbre moteur.

L'arbre est à trois vilebrequins également espacés sur la circonférence, et chacun d'eux conduit directement un piston de pompe, par l'intermédiaire d'une bielle à longue fourche dont le pied est articulé sur la tige; les têtes de bielle sont simples et à palier. Les manivelles motrices, calées à 90°, sont

clavetées sur les extrémités de l'arbre et en dehors des paliers; les grandes bielles sont semblables à celles des pompes. Les tiges des pistons à vapeur et celles des pompes se prolongent au-delà du renflement à travers lequel passe le boulon d'articulation du pied de bielle, et ces prolongements passent dans des guides à douille fixés sur les longerons.

Les tiroirs en coquille sont sur le côté des cylindres, et chacun d'eux est conduit par un excentrique à calage fixe. La pompe alimentaire, à piston plongeur, est du même jet de fonte que l'un des cylindres à vapeur; le piston de cette pompe est conduit par la traverse du piston à vapeur voisin.

Les pompes à incendie sont à double effet, et les divers clapets sont en caoutchouc; il n'y a qu'une seule tubulure d'aspiration et une seule boîte de refoulement pour les trois corps de pompe; la boîte de refoulement est surmontée d'un récipient d'air, à la base duquel sont deux tubulures destinées à recevoir un nombre égal de manches d'incendie.

La chaudière, cylindrique et verticale, a la porte de son fourneau sur l'arrière de la voiture. Cette chaudière a beaucoup de rapport avec la chaudière *Field* (n° 61_2), elle n'en diffère qu'en ce que les tubes sont deux à deux d'un seul morceau; ces tubes sont formés de bouts de tuyaux en cuivre cintrés en leur milieu; les deux parties prenant une direction parallèle, vont traverser la plaque de tête, et leur fixation sur cette plaque s'opère par un mandrinage suivi d'un léger rivetage; les coudes de ces tuyaux plongent dans le fourneau.

La chaudière est pourvue d'un giffard pour l'alimentation pendant les arrêts; un robinet permet d'injecter directemennt de la vapeur dans la cheminée afin d'activer le tirage. Une petite soupape placée sur le tuyau de vapeur, entre les deux cylindres, tient lieu à la fois de registre et de soupape d'arrêt. L'évacuation se fait dans la cheminée. — Voici les dimensions principales de cette pompe:

2 cylindres à vapeur.	Diamètre	0m,180
	Course des pistons	0m,250
Pression à la chaudière		7k,500
3 corps de pompes.	Diamètre des corps de pompe	0m,112
	Course des pistons	0m,220
Nombre de tours par minute		125t
Débit théorique par minute		1.615 litres

N° 66_3 Treuils et cabestans à vapeur. — Dans les grands navires à vapeur de commerce et sur quelques transports de l'État, qui ne comportent que des voilures de peu d'étendue et des équipages réduits en conséquence, on se trouverait dans l'impossibilité de développer, à un moment donné, la puissance nécessaire pour exécuter certaines manœuvres de force. De là l'obligation de recourir à des moteurs mécaniques, tels que treuils, cabestans ou grues à vapeur. Dans la marine militaire, les conditions ne sont pas les mêmes; quelle que soit la réduction de la voilure ou de l'artillerie, les bras ne font jamais

défaut, car l'équipage est toujours conservé suffisamment nombreux à titre de combattants, sinon à titre de matelots. Aussi, les installations mécaniques sont-elles beaucoup plus rares que sur les bâtiments de commerce. La vapeur n'est généralement employée sur les navires de guerre, que pour manœuvrer le gouvernail, les tourelles mobiles et exceptionnellement le cabestan principal. Sur quelques transports dont le service se rapproche de celui d'un bâtiment de commerce, les divers treuils de chargement et de déchargement sont généralement à vapeur.

Treuil à vapeur de Taylord. — C'est surtout en Angleterre que les treuils à vapeur sont employés d'une manière courante; le type le plus en usage est celui de *Taylord de Birkenhead.* Il se compose de deux bâtis en fonte, boulonnés sur une plaque de fondation et supportant trois arbres. Au milieu, entre les deux bâtis, se trouve l'arbre du treuil; à la partie supérieure se trouvent l'arbre moteur et un arbre intermédiaire qui est placé entre les deux premiers. — La machine se compose de deux cylindres à bielle directe, inclinés à 45°; les manivelles sont à angle droit. Ces cylindres sont boulonnés contre les bâtis, à l'extérieur. Les tiroirs sont conduits par des secteurs dont les excentriques sont montés sur l'arbre moteur, en dedans des bâtis; l'évacuation se fait en plein air. Le changement de suspension s'effectue pour les deux secteurs à la fois, au moyen d'un arbre de relevage horizontal, parallèle à l'arbre moteur, et placé dans le bas des bâtis, du côté des cylindres. — Les cloches du treuil sont au nombre de trois : une cloche cylindrique placée au centre, entre les deux bâtis, et deux cloches hyperboloïdales en porte-à-faux. Un système de roues dentées, que l'on peut embrayer ou désembrayer à volonté, permet de relier l'arbre moteur à l'arbre du treuil, soit directement, soit par l'intermédiaire du troisième arbre, ce qui donne au treuil des vitesses différentes. On peut encore séparer complètement l'arbre du treuil de l'arbre moteur pour filer le garant; dans ce dernier cas, on se rend maître du treuil par un frein que porte la cloche cylindrique et qui se manœuvre par une pédale.

On ajoute quelquefois à ce treuil, deux pompes qui peuvent servir soit comme pompes de cale, soit comme pompes à incendie; mais cette installation n'est pas recommandable, car elle enlève au treuil tout le bénéfice de la simplicité, et gêne sa manœuvre. Les pompes pourraient être installées à part, avec une transmission par courroies.

Treuil Corradi. — M. *Corradi*, de Marseille, a modifié d'une manière très-heureuse le type ci-dessus; son système est très-employé en France, principalement par les grandes compagnies de Marseille. Le perfectionnement le plus important consiste dans la suppression des tiroirs et de leurs renvois de mouvement. Les cylindres moteurs sont oscillants, et le tourillon extérieur de chaque cylindre se prolonge, au delà de son palier, par une partie conique qui s'engage dans une boîte de même forme dans laquelle se font l'arrivée et l'évacuation de la vapeur. Les orifices d'admission et d'émission du cylindre, débouchent sur la paroi conique du prolongement du tourillon, et la distribution

se fait par le mouvement d'oscillation du cylindre. Un robinet à quatre fins, placé à la jonction des conduits d'admission et d'évacuation, permet de renverser la marche avec la plus grande rapidité. Cette distribution est analogue à celle que produirait un tiroir mû par un excentrique calé à 90°; elle a l'inconvénient de ne pas permettre l'emploi de la détente, mais cet inconvénient est faible pour une petite machine dont le fonctionnement est toujours forcément intermittent. — Comme dans le type précédent, ce treuil comprend trois cloches : une cloche cylindrique au milieu, entre les bâtis, et deux cloches hyperboloïdales à l'extérieur. Mais à cause de la boîte de distribution de vapeur des cylindres, ces dernières cloches sont beaucoup trop en porte-à-faux, malgré l'installation d'un support supplémentaire. C'est d'ailleurs la seule partie du treuil Corradi qui laisse à désirer, car sa manœuvre est facile et toujours sûre.

Treuil de Carlsund. — Ce treuil, construit par l'usine de *Motola*, en Suède, est une autre modification du type anglais. Un cylindre à vapeur unique, placé au-dessous du pont, vient s'appuyer par son couvercle sur la base d'un des bâtis. Ces derniers sont par suite beaucoup moins hauts. Le tiroir est à l'intérieur des bâtis, mais il n'est conduit que par un seul excentrique à calage fixe, ce qui supprime la possibilité du renversement de marche. Il n'existe d'ailleurs que deux cloches sur le treuil : l'une cylindrique, entre les bâtis, et l'autre hyperboloïdale, en porte-à-faux, du côté opposé au cylindre unique. Enfin, le frein est sur l'arbre moteur au lieu d'être sur l'arbre des cloches. Il résulte de l'ensemble de ces dispositions, que le treuil doit être manœuvré de la manière suivante : on vire en embrayant l'arbre intermédiaire avec les deux autres; puis, pour filer le garant, il faut embrayer directement l'arbre moteur avec l'arbre des cloches, ce qui change le sens du mouvement de cet arbre, la machine continuant de tourner. Cette installation est très-mal commode, car il faut commencer par bosser pour effectuer le changement d'embrayage.

Treuil de Claparède. — Ce treuil n'est employé qu'à terre, dans les arsenaux ou dans les chantiers de construction. Le treuil proprement dit est fixé sur un corps de chaudière locomobile à tubes horizontaux, qui supporte également la petite machine motrice à deux cylindres. Ce treuil comporte deux bobines à cannelures cylindriques, montées en porte-à-faux sur des arbres horizontaux parallèles à l'arbre moteur, et sur lesquelles passe, en s'enroulant de l'une sur l'autre, le filin qu'il s'agit d'embraquer. De ces deux bobines, une seule à la fois est conduite par le mécanisme ; la deuxième reste fixe et ne sert qu'à augmenter la résistance du filin et à lui donner la direction convenable. Un pignon claveté sur l'arbre moteur, et que l'on peut engrener à volonté avec des roues de diamètre différents clavetées sur les axes de chacune des bobines, permet de faire varier la vitesse et l'effort transmis au filin. — De l'autre côté des bobines et montées sur les axes de ces dernières, se trouvent des cloches hyperboloïdales.

Cabestan à vapeur de W. Mathew et Cie. — Le type le plus important des

Cabestans à vapeur, usités surtout dans la marine anglaise, est celui de *MM. Mathew, Paul et Cie de Dumbarton.* Il comprend deux parties distinctes : un treuil horizontal avec couronnes à empreintes pour chaînes, généralement placé dans l'entrepont, en un petit cabestan à axe vertical, sur le pont des gaillards. Les bâtis qui supportent tout l'appareil ainsi que les machines qui le font mouvoir, sont dans l'entrepont. — Chaque machine se compose d'un cylindre vertical placé dans l'axe du bâti contre sa face extérieure, avec le tiroir placé en dedans des bâtis ; un seul excentrique à calage fixe conduit le tiroir. Les deux machines sont accouplées sur un arbre horizontal qui, par un système de deux pignons et d'une grande roue d'angle, peut transmettre un mouvement de rotation, à droite ou à gauche, à un arbre vertical situé à égale distance des deux bâtis et soutenu par deux crapaudines. — Le mouvement de rotation de cet arbre se transmet, d'une part, par une vis sans fin à l'arbre horizontal des couronnes à empreintes, et de l'autre, par un pignon à l'arbre vertical du cabestan supérieur. Ce pignon peut être désembrayé pour rendre le cabestan indépendant ; on peut également désembrayer à volonté chacune des deux couronnes à empreintes, de manière à virer l'une d'elles en laissant l'autre au repos, ou même en filant de la chaîne par cette autre. Pour ces manœuvres, chaque couronne à empreintes est munie d'une couronne à linguets et d'un frein. Le cabestan est également muni d'une couronne à linguets, et peut être mis en mouvement au moyen de barres, quand il a été désembrayé.

Haleur à vapeur de MM. Caillard frères du Hâvre. — Les bâteaux de pêche au hareng ou au maquereau, mettent à la mer des longueurs de 6 à 8 kilomètres de filets ; ces filets sont rentrés à bord au moyen d'un cabestan viré à bras d'hommes. Cette opération, outre qu'elle est extrêmement fatiguante, présente des dangers sérieux lorsqu'il y a de la mer, et exige des équipages de pêche nombreux. MM. *Caillard* frères, du Hâvre, ont imaginé, pour le cabestan du haleur, un moteur qui répond à toutes les exigences du temps.

Le cabestan a gardé sa forme primitive, ainsi que les empreintes des barres et ses linguets. Sur sa partie inférieure, au-dessus du rochet des linguets, est montée une grande roue qui reçoit son mouvement d'un pignon droit. L'axe de ce pignon traverse le pont et porte à sa partie inférieure, un grand disque circulaire dont le plan est légèrement conique, et s'appuie par ses bords sur deux galets montés comme des pignons sur l'arbre moteur. Au moyen d'un grand levier placé sur le pont, près du cabestan, on peut exercer un effort de pression suivant l'axe du disque, et par suite l'appuyer fortement sur ses galets. Le mouvement n'étant transmis que par frottement, toute avarie est évitée pour le cas où la résistance devient trop grande, soit par suite de la levée du bâtiment, soit par suite de l'introduction d'un corps étranger dans l'engrenage ; la machine continue de tourner, mais le cabestan s'arrête.

Le générateur de vapeur est une chaudière verticale à bouilleur.

Tout cet ensemble tient relativement peu de place, et son application constitue une progrès très-marqué dans le bien-être de nos pêcheurs.

Treuil à vapeur Caillard. — MM. Caillard, construisent aussi des treuils à vapeur, à deux cylindres horizontaux, dans le genre de ceux que nous avons décrits, avec deux fusées cylindriques au milieu, et un fusée hyperboloïdale extérieure, sur chaque extrémité de l'axe de l'arbre. Ces treuils ont un aspect très-robuste et se manœuvrent avec facilité.

N° 66_4 Appareils à vapeur pour manœuvrer le gouvernail. — Jusqu'à présent, les appareils à vapeur pour la manœuvre du gouvernail sont munis de servo-moteurs *Farcot*. Les premiers appareils de ce genre ont été appliqués sur les garde-côtes cuirassés, *Cerbère*, *Bélier*, *Boule-Dogue* et *Tigre*. Ils sont à action directe; c'est-à-dire que pour faire passer la barre de l'inclinaison maximum sur un bord à l'inclinaison maximum sur le bord opposé, le piston moteur ne fait qu'une course dans son cylindre. Pour les grands cuirassés, l'appareil comporte deux cylindres inclinés agissant sur *un* arbre commun, et ce dernier actionne le treuil de la drosse par l'intermédiaire d'un pignon.

Appareils à vapeur pour manœuvrer le gouvernail : type appliqué sur les garde-côtes cuirassés. — Cet appareil est représenté par la *fig.* 23, *pl.* VIII. La légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée.

Le fonctionnement du servo-moteur repose sur ce fait que, lorsque l'extrémité arrière du levier M actionné par les drosses, se trouve sur l'axe 1 de la barre de manœuvre A_1, le tiroir du petit servo-moteur est à demi-course. — Supposons la barre droite, tous les tiroirs à demi-course, et agissons sur les drosses de manœuvre pour mettre la barre à tribord, comme sur la figure. Les divers leviers et bielles de la transmission de mouvement du tiroir du petit servo-moteur se déplacent dans le sens indiqué par les flèches : l'articulation arrière du levier de manœuvre M se place sur tribord de l'axe 1 ; le tiroir du petit servo-moteur se déplace sur babord, ouvre l'orifice du bas à l'introduction et celui du haut à l'évacuation. — Le piston *p* du petit servo-moteur se déplace sur babord, et manœuvre le grand tiroir D ; celui-ci démasque l'orifice bas de son cylindre pour l'introduction, et celui du haut pour l'évacuation. — Le mouvement du piston *p* est également transmis par le double levier U, la bielle 11, la crémaillère et le pignon *u*, et enfin par les bielles et leviers 12, aux tiroirs du frein hydraulique qui se déplacent sur tribord, mettant ainsi en communication les deux bouts du cylindre de ce frein. Il résulte de cette disposition, que le frein hydraulique ne peut gêner les mouvements de la barre.

Fig. 23, Pl. VIII.

Le tiroir D du grand servo-moteur n'étant plus à demi-course, le piston P se met en marche sur babord, et agit par sa tige TT' et sa bielle B, sur la

barre de manœuvre A_1. Celle-ci agit à son tour sur la barre A, qui vient sur tribord. Dans le mouvement de la barre de manœuvre A_1, l'axe d'oscillation 10 du levier M se déplace sur babord ; tant que les drosses agissent, l'extrémité avant de ce levier M se déplace aussi sur babord, et les positions relatives de son extrémité arrière et de l'axe 1 ne varient pas sensiblement ; il en résulte que le petit tiroir *d* du petit servo-moteur démasque toujours les mêmes orifices. Par suite, le piston *p* continue sa course de tribord sur babord, entraînant le tiroir D. L'introduction et l'évacuation du grand servo-moteur ne changent pas, et la barre A vient de plus en plus sur tribord.

Lorsque l'axiomètre indique l'inclinaison voulue de la barre, les drosses de manœuvre sont tenues immobiles et l'extrémité avant du levier de manœuvre M devient un point fixe. Le piston P continuant d'agir, l'articulation 10 du levier M se déplace encore sur babord, avec la partie avant de la barre A_1, et il en est de même de l'extrémité arrière du levier M. Le mouvement de cette dernière extrémité du levier M, entraine le tiroir *d* sur tribord, et peu à peu ce tiroir vient se placer à demi-course, ce qui a lieu lorsque l'axe de l'articulation *x* vient se placer sur l'axe du tourillon d'oscillation 1 de la barre A_1. Toutefois, la barre n'est pas encore immobile, puisque le tiroir D démasque toujours les mêmes orifices. Le mouvement se continue encore ; l'articulation *x* passe sur babord par rapport à l'axe d'oscillation 1; le tiroir *d* est déplacé sur tribord, et démasque l'orifice du haut de son cylindre pour l'introduction et celui du bas pour l'évacuation. Le piston *p* revient sur tribord, et place le tiroir D à demi-course. A ce moment, les deux orifices du cylindre C sont ouverts; la pression est égale sur les deux faces du piston P, et l'action de l'eau sur le gouvernail fait rétrograder ce piston ; mais cela très-lentement, à cause de l'action de son cylindre-frein, dont les tiroirs sont à mi-course. Le point d'attache *y* des drosses de manœuvre étant toujours fixe, le mouvement rétrograde de la barre A_1 porte l'articulation *x* sur babord et fait passer cette articulation sur l'axe 1, le tiroir *d* étant alors à demi-course; puis cette position est franchie et le tiroir *d* est encore déplacé sur babord, ouvrant l'introduction du bas et l'évacuation du haut. Le piston *p* marche également sur babord, déplace le tiroir D, et finalement, la vapeur agit de nouveau dans le bas du cylindre C, et le piston P ramène de nouveau la barre A sur tribord. Puis le mouvement recommence en sens contraire, et ainsi de suite ; le gouvernail n'est jamais immobile; il oscille sans cesse autour de la position qu'on veut lui faire occuper. — Il résulte de cet état de choses, une dépense continuelle de vapeur par les deux cylindres du servo-moteur.

S'il survient un coup de mer qui frappe le gouvernail, celui-ci cède en réagissant sur le piston *h* qui refoule l'eau du frein hydraulique H. Ce frein modère l'amplitude de l'oscillation de la barre et donne le temps aux servo-moteurs d'agir à leur tour pour ramener cette barre dans sa position normale. La résistance du frein hydraulique peut être augmentée où diminuée suivant le temps, en faisant varier la charge d'une soupape placée sur une communication directe entre les deux bouts du cylindre de ce frein. Cette soupape doit être d'autant moins chargée que la mer est plus grosse.

La vue 2° de la *fig.* 23, *pl.* VIII, représente la variante de servo-moteur ima-

ginée par *Duclos*, et dont nous avons déjà donné l'explication au n° 34_6. Le tiroir D est logé dans une boîte pratiquée sur le piston ; cette boîte communique par un manchon mobile *v*, avec un réservoir cylindrique V′ dans lequel pénètre le manchon *v* en passant dans un presse-étoupe. Le réservoir V′ reçoit la vapeur par le tuyau V. — La tige Q du tiroir traverse le manchon *v*, le réservoir V′, et sort par un presse-étoupe de ce dernier. — Le tiroir D se promène sur deux orifices d'introduction pratiqués dans le piston P, et qui aboutissent chacun à une face de ce piston, comme le montre la figure — Le conduit d'évacuation E est pratiqué dans l'épaisseur même du piston, et se rouve prolongé par un manchon mobile E′, qui, passant dans un presse-étoupe, pénètre dans un réservoir E_1 d'où le conduit E'_1 amène la vapeur à l'air libre.

En agissant sur la tige Q du tiroir, on déplace ce dernier, et l'on détermine, par suite, l'introduction pour un coté du piston P, et l'évacuation pour l'autre coté. Le piston se met en marche dans le même sens que le tiroir, et continue sa course tant que le tiroir, en se déplaçant, laisse les mêmes orifices démasqués. Mais lorsque le tiroir s'arrête, le piston avançant vient placer ses orifices dans la position qui met le tiroir à mi-course ; l'introduction a lieu des deux côtés, et le piston P s'arrête.

Appareil à vapeur pour manœuvrer le gouvernail : type appliqué sur les grands cuirassés. — Cet appareil est représenté par la *fig.* 54 dont voici la légende :

Vue 1° Coupe verticale par l'axe de l'appareil.
Vue 2° Coupe verticale par les axes des cylindres.
Vue 3° Epure du décalage des excentriques.

A arbre de la machine, à un seul vilebrequin et supporté par deux paliers ; il est tenu dans l'un d'eux par deux embases, et par un collet de butée dans l'autre.

a tourillon excentré de l'arbre A, qui porte le chariot des excentriques .

A′ axe du treuil d'enroulement des drosses, recevant son mouvement de l'arbre A par l'intermédiaire du pignon *r* et de la grande roue dentée R. Cet arbre est supporté par deux paliers, dans lesquels il est retenu par des embases.

a′ treuil d'enroulement des drosses, monté à frottement doux sur l'arbre A′, le long duquel il peut glisser. Ce treuil porte, de chaque côté, des empreintes d'embrayage 1 et 1′, au moyen desquelles il reçoit à volonté, le mouvement de rotation de la roue R, ou du pignon à chaîne-gall *g* qui est actionné par une roue de gouvernail ordinaire. Dans son mouvement de rotation, l'arbre A′ entraîne le treuil *a′*, par l'intermédiaire de la clavette 2.

A_1 arbre fileté parallèle à l'axe A′ du treuil, et recevant un mouvement de rotation de ce dernier par l'intermédiaire d'une chaîne-gall et de deux pignons *l*, L, sur lesquels cette chaîne est enroulée.

a_1 poulie double montée sur l'arbre fileté A_1, et servant de retour aux drosses, pour que les tours de ces drosses sur le treuil *a′* se fassent bien les uns à côté des autres et sans se mordre. La poulie a_1, porte deux bras qui sont guidés en ligne droite par les entretoises *h′*, ce qui oblige la poulie a_1, à avancer quand l'arbre A_1 tourne.

B grandes bielles de la machine motrice agissant sur le même vilebrequin M.

C cylindres moteurs au nombre de deux ; les axes sont placés à 45° tribord et babord de la verticale, et par suite forment entre eux un angle de 90°. — Les boîtes à tiroirs de ces cylindres sont placées sur l'avant.

E chariot commun aux deux excentriques conduisant les tiroirs des cylindres moteurs

Fig. 54. — Appareil à vapeur pour manœuvrer le gouvernail : type Farcot pour grand cuirassé. — Échelle 1/12°.

Vue 1°.

Vue 3°. — Échelle 1/2.

Vue 2°.

Ce chariot est prolongé par un manchon dont la paroi intérieure porte des rainures héliçoïdales. Le tout est en deux parties, reliées par quatre petits boulons noyés dans les nervures circulaires et clavetés.

e partie cylindrique de l'arbre A, sur le prolongement de l'axe de cet arbre, et terminée par une partie filetée.

e' manchon ajusté sur l'arbre *e*; la paroi extérieure de ce manchon, porte des rainures hélicoïdales dont les pleins correspondent aux vides du chariot E, et inversement. Le manchon *e'* porte une clavette 3, qui est ajustée dans une rainure pratiquée sur le bout d'arbre *e*, et même dans le filetage de ce bout d'arbre.

F écrou en bronze taraudé sur le bout fileté de *e*, et recevant un mouvement de rotation de la roue de manœuvre du servo-moteur, par l'intermédiaire du pignon *f* sur lequel est monté une chaîne-gall 5. Le pignon *f* est tenu sur l'écrou F par une clavette. — L'écrou F porte une collerette qui est emprisonnée par la rondelle 4, tenue par des vis taraudées sur le manchon *e'*.

f pignon de chaîne-gall. Un pignon semblable est monté sur l'axe de la roue de manœuvre et les deux sont reliés par la chaîne-gall 5.

Le mouvement de rotation de l'écrou F se transforme en mouvement de translation suivant l'axe de l'arbre pour le manchon *e'*, et le mouvement de translation de ce dernier se transforme en mouvement de rotation pour le chariot E, d'où résulte le changement de calage des deux excentriques.

G manchon d'embrayage du treuil *a'* des drosses, avec la roue ordinaire du gouvernail. Ce manchon porte d'un côté les empreintes 1', et de l'autre, le pignon de chaîne-gall *g*.

g pignon de chaîne-gall, correspondant avec un pignon semblable monté sur la roue à main du gouvernail, les deux étant réunis par la chaîne-gall 6.

H bâtis formant paliers pour les divers arbres de l'appareil.

h plaque de fondation.

h' entretoises de chaque côté de l'axe fileté A_1, et servant à guider la poulie a_1.

K,*k* système d'embrayage du treuil *a'* avec la roue R ou avec le manchon G. L'arbre A' étant creux, reçoit un manchon en bronze 7 qui est tenu par des vis. Ce manchon est fileté intérieurement pour recevoir l'arbre K. Le bout de ce dernier s'engage dans un petit manchon 8, où il est retenu par deux clavettes transversales qui lui permettent de tourner. D'autre part, le manchon 8 est fixé par la clavette 9, sur le moyeu du treuil *a'*. L'arbre A' est évidé au passage de la clavette, pour permettre au manchon *a'* un mouvement de translation sur son axe. A l'extérieur, l'arbre K traverse un support 10, faisant partie des bâtis, puis il reçoit un volant de manœuvre *k*. Le mouvement de rotation de ce volant fait avancer ou reculer l'arbre K, qui entraîne dans son mouvement le treuil *a'*. On effectue par ce moyen l'embrayage de ce treuil avec la roue R ou avec le manchon G.

L,*l* pignons de chaîne-gall montés, le premier L, sur l'arbre A' au moyen d'un tourteau évidé 11, sur lequel il est tenu par des prisonniers; le second *l*, sur l'axe fileté A_1. Par l'intermédiaire de la chaîne-gall 12 capelée sur ces pignons, l'arbre A' transmet son mouvement de rotation à l'axe A_1, qui fait avancer ou reculer le chariot a_1, des drosses, pour que ces dernières s'enroulent bien sur le treuil *a'*.

M vilebrequin de l'arbre A de la machine.

m contre-poids du vilebrequin; tourteau en fonte, rapporté et capelé sur une des manivelles et tenu par des vis.

N frein à friction, monté sur le tourteau *m* qui forme contre-poids au vilebrequin M. Ce frein se compose d'une lame flexible que le mouvement du levier coudé 13 applique contre le tourteau *m*. Ce levier est mû au moyen de l'arbre 14, taraudé dans une partie fixe des bâtis et que l'on fait tourner en agissant sur le volant 15. L'extrémité de cet arbre, pousse sur la branche verticale à fourche du levier 13, par l'intermédiaire de ressorts à rondelle 16, et tire sur ce levier par l'intermédiaire d'un écrou qui fixe une rondelle. On utilise ce frein, soit pour modérer les écarts de la barre sous l'influence des coups de mer, soit pour fixer la barre droite lorsqu'il faut effectuer le désembrayage du servo-moteur pour manœuvrer le gouvernail à la main, ou inversement.

P pistons à vapeur, avec des garnitures dites suédoises.

Q **drosses** en chaîne, enroulées sur le treuil a', et passant en retour sur le chariot a_1 pour se diriger en abord, une de chaque côté ; ces drosses passent ensuite sur des poulies de retour qui les conduisent jusqu'à la barre du gouvernail ; cette dernière présente la disposition ordinaire.

R **roue dentée** montée folle sur l'arbre A', et emprisonnée entre un petit collet de cet arbre et l'écrou goupillé 17. Cette roue porte des empreintes qui correspondent à celles du treuil a', et au moyen desquelles elle donne un mouvement de rotation à ce treuil quand l'embrayage est effectué.

r **pignon** monté sur l'arbre moteur A, tenu sur cet arbre par une clavette, et transmettant son mouvement de rotation à la roue R.

s **colliers** et bielles d'excentrique des tiroirs. Les deux excentriques sont venus de fonte avec le manchon E.

T **tiges** de piston à vapeur.

U **coulisseau** sur lequel se fixe la tige du piston et qui porte le tourillon de pied de bielle.

u **glissière** du coulisseau U. Cette glissière, de section rectangulaire, est venue de fonte avec le couvercle du cylindre. Le coulisseau U porte un œil rectangulaire garni d'un coussinet, dans l'intérieur duquel la glissière *u* est ajustée.

v **canal** d'évacuation du cylindre.

1 **empreintes** d'embrayage du treuil a' avec la roue R.

1' **empreintes** d'embrayage du treuil a' avec le manchon G.

2 **clavette** d'entraînement du treuil a' par l'arbre A'.

3 **clavette** d'entraînement du manchon e' par l'arbre *e*.

4 **collier** maintenant le manchon F sur le manchon e'.

5 **chaîne-gall** de manœuvre du servo-moteur.

6 **chaîne-gall** de manœuvre à la main de la barre.

7 **manchon** fixé sur le bout de l'arbre A', et taraudé pour recevoir l'arbre intérieur K.

8 **manchon** d'entraînement du treuil a', lorsqu'on veut passer de la manœuvre de la barre par la machine à la manœuvre à la main ou inversement. Le manchon 8 est actionné par l'arbre K.

9 **clavette** fixant le manchon 8 sur le treuil a'.

10 **support** extérieur de l'arbre K.

11 **tourteau** d'entraînement par l'arbre A' de la roue de chaîne-gall L.

12 **chaîne-gall** de la transmission du mouvement de l'arbre A' à l'arbre A_1.

13 **levier** et axe d'oscillation du levier du frein.

14 **petit arbre** taraudé dans un support et actionnant le levier 13.

15 **volant** de manœuvre de l'arbre 14.

16 **ressorts** à rondelles par l'intermédiaire desquels l'arbre 14 pousse le levier 13 pour serrer le frein.

Cette légende étant bien comprise, voici quelques explications sur le fonctionnement de l'appareil.

Servo-moteur. — La *vue* 3° représente l'épure de la mise en train formant servo-moteur. Les rayons des deux excentriques ont même longueur et même direction ; cette longueur est égale à l'excentricité de *a* sur A. Dans les positions qu'occupent la pièce *vue* 1°, la manivelle M commune aux deux pistons, est verticale en bas, et les centres des excentriques sont sur le centre de l'arbre A. Les tiroirs n'ont, par suite, aucune course et restent immobiles, fermant complétement les deux orifices d'introduction. L'angle de calage vaut 0°. — En agissant sur la roue de manœuvre par l'intermédiaire de la chaîne-gall 5, le manchon e' avance par exemple, dans l'intérieur du manchon E ; comme les filets héliçoïdaux de ces manchons sont de pas à gauche, le man-

chon E tourne à droite de l'axe a; les centres des excentriques se déplacent sur un arc de cercle qui a pour centre a, et pour rayon aA$=21^{mm}$. Les rayons d'excentricité deviennent successivement Ax, Ay, Az, At. Dans cette dernière position, l'angle de calage tAM vaut 110°, et la course des tiroirs vaut 41^{mm}. Les machines se mettent en route, et font tourner l'arbre A dans le sens du déplacement subi par les excentriques. Il en résulte que le mouvement se continuera si, pendant que la machine tourne, on agit sur le volant de manœuvre pour maintenir l'écrou F à son poste sur le bout fileté de e, car l'angle de calage MAt conservera sa valeur. Mais si l'on arrête le volant de manœuvre à l'indication qui correspond à l'angle de barre que l'on veut avoir, le mouvement de l'arbre A, et par suite du bout fileté de e, fera rétrograder sur la droite l'écrou F; ce dernier entraînera le manchon e' qui, à son tour, fera tourner le manchon E des excentriques sur la gauche. L'angle de calage et le rayon d'excentricité diminueront peu à peu, jusqu'à ce que le centre des excentriques étant revenu sur l'axe de l'arbre A, le tiroir n'ait plus de course; la machine sera alors stoppée. — La même manœuvre, mais en sens inverse, se produit lorsqu'on veut porter la barre de l'autre bord.

Frein. — Le servo-moteur fait lui-même l'office de frein lorsque le gouvernail reçoit un coup de mer. La poussée est transmise par les drosses au treuil a', à la roue R et par suite au pignon r. En temps ordinaire, l'élasticité des drosses suffit à amortir le choc, et la machine motrice a très-peu de mouvement. Mais si le pignon r et par suite l'arbre A tournent, il en résulte un mouvement du servo-moteur qui ouvre la distribution pour corriger cet écart. Le mouvement à gauche, par exemple, de l'arbre A, fait que le bout taraudé e tire sur l'écrou F, et il se produit le même déplacement angulaire que lorsqu'on faisait tourner cet écrou à droite au moyen du volant de manœuvre; c'est-à-dire que les centres des excentriques viennent successivement en x, y, z..., etc. Dès que les orifices des cylindres sont suffisamment démasqués par les tiroirs, la machine se met en marche dans le sens de la flèche, c'est-à-dire que l'arbre tourne à droite, et ramène la barre au point où elle était. L'écrou F étant tenu immobile par la roue de manœuvre, le mouvement de l'arbre ramène les centres des excentriques en A. Les écarts de la barre sont diminués par le serrage du frein N.

Embrayages. — Quand le moteur à vapeur fonctionne, le treuil a' est engrené avec la roue R. Quand pour une raison quelconque, on veut manœuvrer à la main, il suffit d'agir sur le volant k, pour tirer le treuil a' en arrière, et l'embrayer avec le manchon G, en ayant la précaution de faire tourner ce manchon pour que les empreintes se présentent bien. Il va de soi que si cette opération se faisait à la mer, il faudrait mettre la barre droite et serrer fortement le frein N. La manœuvre inverse s'effectue pour embrayer le treuil a' avec la roue R, et par suite avec le moteur à vapeur.

Cet appareil est très-bien compris et d'une manœuvre commode et prompte; on passe très-facilement de la manœuvre par le moteur à la manœuvre à bras d'hommes, et cela, sans démonter quoi que ce soit, ce qui est un très-grand avantage. Mais il nous semble présenter un point faible sur lequel l'expérience prononcera : les coups de mer sur le gouvernail sont supportés par les dents

en contact du pignon *r* et de la grande roue R. Or, eu égard à la disposition de la transmission de mouvement, ces dents doivent subir un effort considérable avant que le pignon *r* tourne, et il sera toujours prudent de donner au gouvernail de petites inclinaisons par mauvais temps.

N° 66_1 Aération des chambres de machines. — La réalisation d'une bonne aération des chambres de machines est très importante, tant au point de vue de la santé du personnel que de la bonne utilisation du combustible et de la surveillance efficace exercée sur l'appareil moteur. — Dans l'aération, il faut réaliser deux conditions : facilités d'arrivée de l'air frais, et dégagement de l'air chaud. Le plus souvent, l'appareil moteur est complètement couvert : le panneau de la cheminée, autour de cette dernière, est le seul conduit par lequel la machine communique directement avec le pont. L'air frais arrive par les cales avant et arrière, et par les manches à vent que l'on installe le long de la cheminée. L'air chaud se dégage en partie par les cales, en partie par le panneau de la cheminée, par l'espace annulaire compris entre la cheminée et son enveloppe, et quelquefois par une lame d'air ménagée dans la cheminée elle-même, entre les cloisons de ses compartiments inférieurs.

Dans ces conditions, l'air se renouvelle suffisamment pour la chaufferie, et la partie inférieure de l'appareil moteur ; mais l'aération fait complètement défaut au parquet supérieur, où la température s'élève quelquefois au-dessus de 60° dans le voisinage de la mise en train et des boîtes à tiroir. Une circulation plus active de l'air frais ne remédierait pas à cet inconvénient : il faut ménager l'écoulement de l'air chaud, soit par des manches directes placées au-dessus de la machine, soit par des manches coudées aboutissant au panneau de la cheminée ou bien dans cette cheminée elle-même. Toutefois, cette dernière installation nuit au tirage, et il est mieux que les manches de dégagement d'air soient indépendantes de la cheminée.

Pour les bâtiments actuels munis de cloisons étanches, l'aérage des chambres de machine devient de plus en plus difficile. On pratique, sur l'avant de la chaufferie et sur l'arrière de la machine, le long des cloisons étanches, des puits d'arrivée pour l'air frais ; mais les soutes rétrécissent considérablement le passage de cet air de l'appareil moteur aux chaudières ; la circulation de l'air frais se fait toujours par le bas, et s'il n'existe pas de dégagement d'air chaud, les parties hautes de la chambre de la machine sont inhabitables.

Les manches en tôle, munies de trompes que l'on oriente au vent, et placées le plus souvent à côté de la cheminée, fournissent une quantité notable d'air frais quand il y a de la brise ; mais elles sont insuffisantes par calme. Une des dernières installations de ce genre est représentée par la *fig.* 24, *pl.* VIII. Elle comporte, outre la manche à vent, le système de montage des sceaux à escarbilles, auxquels la manche sert de guide.

Le manchon cylindrique A, construit avec de la tôle de 3^{mm}, a un diamètre de $1^m,70$. Ce manchon traverse le pont sur lequel il est fixé par une collerette, et s'élève à 1 mètre au-dessus de ce pont ; puis il se rétrécit, en *c*, où il prend un diamètre de $0^m,85$. D'autre part, le manchon A descend jusqu'à $1^m,50$ au-dessus du parquet de chauffe. A la partie supérieure du manchon A, vers l'ex- Fig. 24, Pl. VIII.

trémité du grand diamètre de ce manchon, se trouve une forte traverse en fer 1, rivetée au moyen de pattes qui forment ses extrémités, et qui portent les poulies 2 pour les vérines des seaux à escarbilles. — Les seaux B sont hissés dans le manchon A, qui les maintient au roulis, et sortent par les portes *a* pratiquées sur ce manchon, au-dessus du pont.

La trompe C est construite en tôle de 2 millimètres d'épaisseur. Elle est en trois morceaux, avec couture longitudinale sur le dos. — Le diamètre *xx* de l'entrée est de 1m,755 ; cette entrée est bordée par un boudin de 27mm de diamètre. La couture *yy*, a un grand axe, *vue* 2e, de 1m,600, et un petit axe de 1m,400. La couture *zz* a un grand axe, *vue* 2e, de 1m,160 et un petit axe de 1m,060. — La section horizontale de la partie qui s'emboîte en *c* sur le manchon A, est cylindrique ; cette partie repose sur une collerette 3 rivetée sur le manchon A ; elle est bordée par un boudin cylindrique de 20mm de diamètre. D'autre part, la partie C de la trompe porte, fixé à un croisillon, un axe qui s'engage dans une douille formant le centre d'un double croisillon riveté au moyen de pattes sur le manchon A. — Enfin, l'axe repose sur une traverse fixée au même manchon A. — Il résulte de l'ensemble de ces dispositions que la trompe peut être facilement orientée. — La boucle 4, placée près du sommet de la trompe et dans la direction de son axe, sert à frapper l'extrémité d'un cartahu pour démonter la trompe et pour la remettre en place.

Sur quelques bâtiments, l'air est envoyé dans les chambres des machines par des ventilateurs : ces appareils agissent le plus souvent par refoulement, et présentent l'avantage d'activer la combustion des foyers, dans des proportions plus ou moins notables suivant leur mode de fonctionnement. En principe, l'air refoulé par les ventilateurs, ne doit pas pénétrer dans le lieu où se tiennent les hommes, avec une vitesse supérieure à 2m par seconde. D'autre part, il conviendrait que la veine d'air refoulée fut divisée de façon à déboucher par un grand nombre de canaux placés le long de la muraille, quelques uns étant dirigés vers les hauts, surtout pour la chambre de la machine, afin de balayer l'air chaud qui sans cela, reste stationnaire dans ces parties.

Sur les *Tornycroft*, où il faut brûler une grande quantité de charbon sur une grille relativement restreinte, les chambres de machine n'ont de communication avec l'atmosphère que par le conduit d'arrivée de l'air du ventilateur et par la cheminée. Pendant la marche, le panneau de descente dans la machine est fermé. Une installation semblable a été faite sur le *La Bourdonnais* et a donné de bons résultats. Dans les deux cas, l'air de la chambre des machines étant tenu, par le refoulement du ventilateur, à une pression supérieure à celle de l'atmosphère de 75 à 100 centimètres d'eau, la température n'a pas dépassé 30°. — Une installation semblable serait non seulement utile, mais même nécessaire sur nos grand cuirassés à cloisons étanches. Les portes de communication qui existent sur ces cloisons restent ouvertes en navigation courante ; les essais de consommation et de vitesse sont même faits dans ces conditions. C'est là une mauvaise manière de procéder ; d'abord, ces portes seront forcément closes pendant le combat, et l'aérage n'étant plus suffisant, la machine ne pourra plus développer toute sa puissance au moment où on en aurait le plus grand besoin ; en second lieu, quelque soin que l'on prenne, quelque surveil-

lance que l'on exerce, il peut se présenter tel accident de mer qui mette dans la cale une quantité d'eau capable d'éteindre les feux avant que l'on ait pu fermer les portes des cloisons. Ces portes ne devraient être ouvertes qu'au mouillage pour faciliter l'aération de l'ensemble du bâtiment; mais à la mer elles devraient être rigoureusement fermées. L'exemple du *Vanguard* est une leçon qui ne devrait pas être perdue.

CHAPITRE V.

TRAVAIL ET RÉGULATION DES MACHINES. — COUPLES DE ROTATION. — COMPTEURS DES NOMBRES DE TOURS ET INDICATEURS DE LA VITESSE.

CHAP. V, § 1. — TRAVAIL DES MACHINES.

N° 67. — 1. Indicateur Paul Garnier nouveau modèle. — 2. Indicateur Richard. — 3. Placement de l'indicateur et relevé des courbes. — 4. Indicateur continu, compteur enregistrant de Ashton.

N° 67$_1$ Indicateur Paul Garnier nouveau modèle. — L'indicateur Paul Garnier nouveau modèle, applicable aux machines à haute pression et à grande vitesse, est représenté par la *fig.* 11, *pl.* IX. Il diffère de l'ancien modèle (n° 223$_2$ et *fig.* 1, *pl.* XXVII du *G^d Traité*) sur les points suivants : les deux ressorts sont remplacés par un seul, qui agit alternativement par compression et par extension ; il n'existe également qu'un seul cylindre porte-papier au lieu de deux ; enfin, le petit mécanisme qui, sur l'ancien modèle, servait à mesurer le développement du papier, a été supprimé. La légende adjointe à la *pl.* IX, donne une description détaillée de toutes les parties qui composent l'indicateur Garnier nouveau modèle ; nous ajouterons les explications suivantes relatives à son installation et à son mode de fonctionnement.

Fig. 11, Pl. IX. Pour changer le ressort D, on commence par enlever le porte-crayon, en le retirant tout simplement pour dégager sa fourchette ; on dévisse ensuite le couvercle *b*, et on l'enlève en sortant en même temps le piston de l'indicateur. Cela fait, on enlève la petite vis 4', *vue* 5°, et le talon *d'* peut alors être dévissé. La tige *a'* est dégagée

en enlevant le bouton qui la termine, puis on enlève les vis 3,3. Pour mettre un autre ressort en place, on fixe le talon *d* sur le couvercle *b* au moyen des vis 3,3 ; la tige est ensuite enfilée, et le talon *d'* vissé sur cette tige, après quoi, la petite vis 4', *vue* 5°, est mise en place. Le couvercle *b* est alors remis à son poste, en même temps que le piston *a* est enfoncé dans son cylindre ; puis la tige est garnie de son bouchon. L'échelle E qui convient au nouveau ressort est ensuite mise en place, et on emmanche le porte-crayon. Pour cette dernière opération, il peut être nécessaire de faire tourner la tige *a'*, en agissant sur son bouton, de manière que le croisillon C' se présente bien devant la fenêtre de la boîte B.

Pour donner au ressort de rappel *k*, une tension convenable, il faut faire tourner le cylindre H, ou bien le cylindre G' si le premier est enlevé, de manière que la vis *t'* présente sa tête en dehors de la plate-forme F ; cette vis peut alors être enlevée, ce qui permet de faire tourner tout le système, à la main, pour donner au ressort *k* la tension jugée convenable. La vis *t'* étant ensuite remise en place, permet au ressort *k* de rappeler en arrière, jusqu'à ce que la tête de la vis *t'* vienne porter sur la tête de la vis *t* ; l'instrument est alors au repos.

Lorsque le ressort *k* est suffisamment tendu, la petite corde à boyau *g* est mise en place ; un bout de cette corde est engagé dans un trou pratiqué dans la gorge de la poulie G, et qui débouche dans l'évidement intérieur ; on fait un nœud sur cette extrémité, puis la corde à boyau est enroulée de gauche à droite en passant sur l'avant, entre la garde 7 et la poulie G. La deuxième extrémité de la corde *g* est engagée dans le trou pratiqué sur l'arbre L, et on fait un nœud pour l'arrêter. La longueur de la corde *g* doit être réglée de manière qu'elle n'ait pas de mou et qu'elle sente un peu l'action du ressort de rappel *k*.

Le diamètre de la poulie M, montée sur l'extrémité de l'arbre L, est généralement déterminé pour que cette poulie fasse 8 tours pour une course du piston de la machine. L'arbre L pourrait à la rigueur faire 10 tours en enroulant la corde à boyau, pendant que la vis d'arrêt *t'* passe de la position *t' vue* 2°, à la position *t''* ; la poulie M pourrait par suite avoir un diamètre plus petit que celui dont nous venons de parler, ce qui donnerait à la courbe une ligne atmosphérique plus longue. Mais en ne comptant que sur 8 tours de la poulie M, on se donne une marge suffisante pour éviter les

petits dérangements qui résultent de l'allongement du cordon *m* pendant le fonctionnement.

La longueur du cordon *m* doit être réglée pour que, lorsque le piston moteur est au point mort bas, la petite corde à boyau *g* ait commencé son enroulement sur l'arbre L, et pour que le piston moteur arrive au point mort haut avant que la vis *t'* soit venue en *t''*, *vue* 2°. — D'autre part, 10 tours du cordon *m* sont généralement enroulés sur la poulie M, lorsque le piston moteur est au point mort bas. Le cordon *m* est actionné par la tige du piston de la machine pendant la course montante de ce piston ; ce cordon se déroule de dessus la poulie M, celle-ci tourne et donne son mouvement à l'arbre L. Ce dernier enroule la corde à boyau *g*, et force la poulie à gorge G, à tourner de gauche à droite en passant sur l'avant. La tension du ressort *k* augmente pendant cette course du piston moteur. — A la course descendante du piston moteur, le ressort *k* rappelle tout le système ; la poulie à gorge G enroule la corde à boyau *g* ; celle-ci force l'arbre L et par suite la poulie M à tourner ; la poulie M ramasse alors le mou que la tige du piston de la machine donne au cordon *m*.

D'après la manière dont le cylindre porte-papier H tourne, la courbe du bas se trouvera toujours à droite de la ligne atmosphérique, et la courbe du haut à gauche, c'est le contraire qui a lieu avec l'indicateur Richard (n° 67_2).

L'indicateur Garnier nouveau modèle possède, sur l'ancien, les avantages suivants :

I. Il est beaucoup moins volumineux et d'une construction moins dispendieuse.

II. En raison de ce que le ressort de rappel n'a qu'un cylindre à mettre en action, l'inertie de l'instrument est moins considérable, et l'action du ressort est par suite plus efficace.

III. Le changement des bandes de papier s'effectue avec beaucoup plus de facilité sur le nouvel appareil que sur l'ancien, et sans qu'il soit besoin de se préoccuper de redonner une nouvelle bande au ressort de rappel.

IV. En cas de rupture de la corde à boyau, le papier ne subit aucun dérangement ; la poulie à gorge vient tout simplement porter sur son arrêt, et le ressort de rappel reste bandé. Il suffit de remplacer la corde à boyau, et l'instrument est prêt à fonctionner. Avec l'ancien appareil, la rupture de la corde à boyau amenait l'enroulement complet du papier sur le cylindre du ressort de rappel, et le papier était déchiré le plus souvent. Il fallait par suite effectuer une double opération pour mettre l'indicateur en état ; la première relative à la corde à boyau, et la seconde au papier lui-même.

V. L'emploi d'un ressort unique tenu par les deux extrémités, fait diminuer l'amplitude et la durée des oscillations qui se produisent au moment de l'avance à l'introduction, et les courbes sont plus régulières.

L'installation de l'indicateur Garnier nouveau modèle n'est réellement défectueuse que sur un seul point; il lui manque un système qui permette d'abaisser le crayon et de le relever sans qu'il soit besoin de le toucher. — Avec l'installation existante, il faut avoir la précaution d'abaisser le crayon pendant la course d'évacuation, et en effectuant cette opération par une simple pression exercée avec le doigt sur la tête du porte-crayon, de manière que le crayon puisse glisser si le piston de l'indicateur remonte avant que le crayon soit en contact avec le papier. L'opération n'est pas très-difficile avec les machines dont la vitesse de rotation ne dépasse pas 65 à 70 tours; mais avec des vitesses supérieures, il arrive souvent que la tête du porte-crayon échappe avant que le crayon soit en contact avec le papier. Dans ces conditions le crayon poussé par le ressort 4 tombe brusquement sur le papier, s'y incruste et le déchire. Il ne serait pas difficile d'installer un petit cadre très-allongé, dans lequel se mouvrait librement le bras du porte-crayon, le cadre étant articulé aux deux extrémités et sur les côtés de la fenêtre pratiquée sur la boîte à ressort, et étant muni d'une petite poignée pour la manœuvre. On pourrait ainsi, abaisser ou relever le porte-crayon sans courir le risque de le fausser ou de déchirer le papier.

N° 67, Indicateur Richard. — L'indicateur Richard peut être employé sur toutes les machines, mais il convient particulièrement aux machines à très-grande vitesse. Cet appareil est représenté par la *fig.* 12, *pl.* IX, et la légende adjointe à cette planche en donne une description détaillée. Voici quelques explications relatives à son installation et à son mode de fonctionnement. Fig. 12, Pl. IX.

Pour changer le ressort D, on commence par dévisser le couvercle b de la boîte B, puis on enlève du même coup, le bras C, le couvercle b, le piston a et son ressort. Cela fait, on démanche la douille a_1 et on dévisse le talon inférieur d' du ressort D. Le piston et sa tige sont alors libres. Le talon supérieur d est ensuite dévissé. Pour remettre en place le nouveau ressort, il faut suivre la marche inverse : passer le ressort dans la douille du bras C, et visser le talon supérieur d sur le couvercle b; enfiler la tige de piston, et visser sur ce dernier, le talon inférieur d'; emmancher la douille a_1 sur la tige a'; enfin, mettre le piston de l'indicateur dans son cylindre, en même temps que l'on capelle la douille du bras C sur le cylindre B, et visser le couvercle b. Dans cette dernière opération, il faut prendre garde que les balanciers C″,C′ soient bien orientés, le balancier extérieur étant en bas.

Pour donner au ressort de rappel k une bande convenable, il

suffit de desserrer la vis t et de faire tourner de droite à gauche en passant sur l'avant, le cylindre H ou le cylindre G' si le premier est enlevé; la vis t est resserrée lorsque le ressort k possède une bande suffisante. — Avec les indicateurs dans lesquels la vis t est remplacée par un toc fixe, faisant corps avec la plate-forme F, l'opération qui nous occupe n'est pas aussi commode. Il faut commencer par desserrer l'écrou 11, d'un tour environ, puis remonter tout le système de la poulie à gorge G et de son axe I, de manière à faire franchir le toc t par le butoir t'; c'est seulement alors qu'on peut faire tourner le cylindre G' et donner au ressort k la bande qui convient; puis on serre à demeure l'écrou 11.

Lorsque le ressort k est suffisamment tendu, le cordon g est mis en place; un bout de ce cordon est engagé dans le trou pratiqué sur la gorge de la poulie G, qui débouche dans l'évidement intérieur, et on l'arrête par un nœud. Le cordon est ensuite passé sur la poulie G, puis entre les galets 15,15. Si le cordon était déjà en place quand on veut donner de la bande au ressort k, il faudrait rendre libre le bout qui passe entre les galets 15,15, et le repasser ensuite quand le ressort k est suffisamment tendu. — L'extrémité du cordon g doit être attachée à un levier qui réduira convenablement la course du piston de la machine pour que le mouvement du cylindre H correspondant à cette course, se fasse entre les deux arrêts de la poulie G, sans que ces arrêts soient touchés.

D'après la manière dont le cylindre H tourne sous l'action du cordon g, la courbe du bas du cylindre moteur est tracée sur la droite du papier, tandis que la courbe du haut est tracée sur la gauche. C'est le contraire qui a lieu avec l'indicateur Paul Garnier nouveau modèle (n° 67_1).

L'indicateur Richard présente les avantages suivants :

I. C'est le moins volumineux de tous les instruments en usage.

II. L'inertie de l'instrument est faible, puisque le ressort de rappel k n'a qu'un cylindre à mettre en mouvement.

III. Le changement de la bande de papier s'effectue avec facilité.

IV. En cas de rupture du cordon, le papier ne subit aucun dérangement, et l'instrument est prêt à fonctionner dès que ce cordon est remplacé.

V. L'emploi d'un ressort unique d'une très-grande résistance, fait diminuer l'amplitude et la durée des oscillations qui se produisent au moment de l'avance à l'introduction et qui rendent les courbes irrégulières.

VI. Le système d'installation du porte-crayon permet d'abaisser ce dernier sans qu'on soit obligé de le toucher avec la main, ce qui supprime les chances

d'avaries. — La double entaille réservée au petit galet du ressort *r*, permet d'avancer **rapidement** le crayon près du papier, et indique le moment où il faut le **pousser lentement** pour qu'il ne s'incruste pas dans le papier en le déchirant. Ce **point est** très-important, parce que dans les machines à très-grande vitesse, il **est presque** impossible d'abaisser le crayon en un point donné de la course **du piston de** la machine.

VII. **Cet** instrument est applicable quelle que soit la vitesse de rotation. Il **suffit, lorsque** la vitesse est considérable, d'employer un ressort de grande résistance, **et** de réduire dans de grandes proportions la course du piston de la machine.

On ne peut reprocher à l'indicateur Richard que les trois défauts suivants :

I. Le mouvement du porte-crayon étant amplifié, les erreurs de flexion du ressort de l'indicateur sont triplées sur la courbe. D'où il résulte qu'il ne faut employer que des ressorts d'une grande exactitude.

II. Lorsque la douille a_1 prend du jeu, le crayon se trouve toujours en retard d'une quantité égale à trois fois ce jeu. Cet inconvénient est considérablement diminué par l'installation de la nouvelle douille a_1 que représente la *vue* 5°, parce que les butées ont une portée infiniment plus grande que dans l'installation primitive, et par suite l'usure est insignifiante.

III. Cet instrument exige une installation spéciale pour réduire la course du piston de la machine. Cette installation n'est pas toujours commode à effectuer, et on a souvent recours à un système semblable à celui qui est usité pour l'indicateur Garnier nouveau modèle, mais monté sur un support spécial.

N° 67_3 Placement de l'indicateur et relevé des courbes. — Les installations de tuyautage sont communes aux deux indicateurs dont il vient d'être question. Lorsqu'on n'a qu'un appareil par cylindre, on emploie un tuyau unique portant en son milieu un robinet à deux voies, sur lequel se monte le robinet de purge de l'indicateur, puis l'indicateur lui-même. Les deux branches de ce tuyau, munie chacune d'un robinet obturateur à son extrémité, aboutissent à des conduits percés dans la paroi du cylindre et de manière à aboutir dans l'intérieur des orifices. Lorsqu'il n'est pas possible de faire aboutir ces conduits dans les orifices mêmes, et qu'on est obligé de les percer en plein dans la paroi du cylindre, il faut au moins les faire aboutir dans l'espace libre, afin qu'ils ne soient pas bouchés par le piston pendant les derniers instants de sa course.

Une dépêche ministérielle du 28 décembre 1867, prescrit que les deux indicateurs *Garnier* nouveau modèle et *Richard*, pourront être employés indistinctement pour des allures comprises entre 50 et 100

tours par minute ; que l'indicateur *Garnier* sera seul employé pour des allures inférieures à 50 tours et que l'indicateur *Richard* sera seul employé pour des allures supérieures à 100 tours par minute.

Toutes les recommandations spécifiées au n° 222$_4$ du *G^d Traité*, sont ici applicables. Notamment, il faut que les renvois de mouvement du cordon de l'indicateur soient installés pour : 1° que ce cordon s'enroule bien sur la poulie en bois M, *fig.* 11, *pl.* IX, de l'indicateur Garnier ; et avec les deux indicateurs, pour que de la dernière poulie de renvoi au point d'attache sur le crochet de la tige du piston ou de la pièce qui a le même mouvement que cette tige, le cordon de l'indicateur soit bien parallèle à cette tige ou à cette pièce.

Nous donnerons un exemple de l'installation de l'indicateur Richard monté sur une machine à très-grande vitesse. Cette installation est représentée par la *fig.* 55, elle a été faite sur les machines de *Thornycroft* ; voici la légende de cette figure :

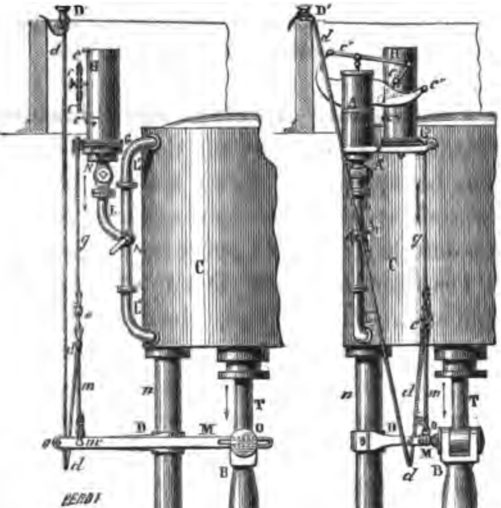


Fig. 55. — Installation de l'indicateur Richard sur une machine à très-grande vitesse.

Vue 1°. Élévation transversale de l'installation. Vue 2°. Vue de bout de l'installation.

A indicateur Richard, type anglais, ne différant du type décrit au n° 67$_2$, que par des détails dont le plus important consiste en ce que le crayon s'abaisse de gauche à droite, au lieu de s'abaisser de droite à gauche, le mouvement du cylindre porte-papier étant d'ailleurs aussi de gauche à droite pour la course montante du piston de la machine.

A′ robinet de purge de l'indicateur monté sur la tubulure L.

A$_1$ robinet à deux voies pouvant établir, à tour de rôle, la communication de l'indicateur avec chacun des bouts du cylindre de la machine au moyen des tuyaux L′, L″, et du tuyau L.

C cylindre à vapeur de la machine ; cette dernière est à pilon.

c crayon de l'indicateur.

c′, *c″*, *c″* parallélogramme du crayon. Avec cet instrument, les deux balanciers *c″* ne sont pas égaux, et, par suite, le crayon *c* n'est pas placé au milieu de la bielle *c′* (n° 53$_2$ du *G^d Traité*).

D bras fixe monté sur une des colonnettes *n* du cylindre à vapeur, et destiné à porter l'articulation du levier M, au moyen duquel on réduit la course du piston.

- **d** — cordon destiné à suspendre le fonctionnement de l'indicateur. Ce cordon est amarr sur l'anneau double *e*, du cordon *g*; il passe en retour sous le support D, et va se fixer en un taquet D'. On donne du mou à ce cordon pour que l'indicateur fonctionne. Quand la courbe est relevée, on hale sur le cordon *d*, le ressort de l'indicateur est tendu, le cylindre porte-papier H est près de son arrêt supérieur, et le piston de la machine fonctionne sans actionner l'indicateur, car le cordon *m* a un mou suffisant.
- **D'** — taquet d'attache du cordon *d*.
- **e** — anneau double fixé à l'extrémité du cordon *g*, et recevant d'une part, le cordon *m* qui transmet le mouvement du piston, et d'autre part, le cordon *d* qui sert à suspendre le fonctionnement de l'indicateur.
- **F** — plate-forme de l'indicateur.
- **G** — poulie à gorge de l'indicateur.
- **g** — cordon de l'indicateur, enroulé de gauche à droite sur la poulie G, en passant sur l'avant.
- **H** — cylindre porte-papier de l'indicateur.
- **L** — tubulure de communication de l'indicateur avec le robinet à deux voies A_1.
- **L', L''** — tuyaux à la jonction desquels se trouve le robinet à deux voies A_1 ; le tuyau L' communique avec le bas du cylindre de la machine et le tuyau L'' avec le haut de ce même cylindre.
- **M** — levier articulé en *o* à l'extrémité du support D, et actionné par un boulon fixé sur l'axe du pied de bielle. Ce boulon passe dans une rainure que porte l'extrémité du levier M.
- **m** — cordon amarré sur l'anneau double *e*, et venant se fixer à une boucle *m'*, tenue sur le levier M par un petit boulon. La course du piston de la machine est réduite dans le rapport de *om'* à *o*O. Cette réduction doit être d'autant plus grande que la vitesse de rotation est plus rapide. Sur les *Thornycroft*, dont les machines donnent plus de 400 tours par minute, le rapport de *om'* à *o*O vaut environ 1/8ᵉ.
- **n** — colonnette de support du cylindre de la machine, sur laquelle est monté le bras D.
- **O** — boulon monté sur l'axe du tourillon de pied de bielle, et actionnant le levier M. Ce boulon se meut librement dans une rainure que porte l'extrémité de ce levier.
- **o** — articulation du levier M sur le bras D.
- **T** — tige de piston de la machine.

Sur la *fig.* 55, l'indicateur est en fonction, et les communications sont ouvertes pour relever une courbe du haut. Le piston moteur monte et se trouve vers le milieu de sa course. Le cordon *d* a assez de mou pour ne pas gêner le fonctionnement. Quand les deux courbes sont relevées et la ligne atmosphérique tracée, on hale sur le cordon *d;* toute la transmission de mouvement est actionnée comme si le piston moteur tirait lui-même, et le cylindre porte-papier arrive au haut de sa course. Le cordon *d* est ensuite amarré au taquet D', et l'indicateur reste immobile, le cordon *m* ayant assez de mou. Le cylindre porte-papier peut alors être enlevé et le papier changé. — Pour prendre de nouvelles courbes, il suffit de donner du mou au cordon *d*; le ressort de l'indicateur rappelle, le cordon *m* étant raidi, et l'instrument fonctionne.

Si le cordon *m* était rompu, il faudrait arrêter la machine pour le remplacer. Pour éviter cet accident, le cordon *m* est une corde à boyau très-forte, qui tout en ayant une flexibilité suffisante pour se plier et se tendre quand l'indicateur ne fonctionne pas, offre cependant une grande résistance.

Le système de cordon *d*, qui sert à suspendre le fonctionnement de

l'indicateur, pourrait être remplacé avantageusement par une simple rainure pratiquée sur le levier M, parallèllement à l'axe de ce levier, au-dessus de la ligne actuelle *om'*, et portant deux encoches à sa partie supérieure pour recevoir le boulon de la boucle *m'*. L'une de ces encoches serait à la hauteur du point fixe *o*, et l'autre, au point que l'on voudrait, suivant la réduction convenue de la course du piston de la machine. Cette disposition permettrait de remédier, en marche, à toute rupture du cordon de l'indicateur, dont la longueur serait réglée sur le point fixe *o*. Il va de soi que le point d'attache *m'* du cordon, pourrait être placé de l'autre côté de l'axe d'oscillation *o*.

Relevé des courbes d'indicateur. — L'indicateur étant monté et réglé, le cordon *m*, *fig.* 11, *pl.* IX, n'est attaché à la tige du piston de la machine qu'au moment où on se dispose à prendre des courbes. Ce cordon est terminé par un anneau allongé, que l'on capelle sur le crochet de la tige du piston, au moment où ce dernier achève sa course descendante. Dans cette opération, la main doit suivre le mouvement de la tige du piston, et l'anneau du cordon de l'indicateur est abandonné au point mort. Ceci fait, on s'assure que le cylindre porte-papier fonctionne bien entre ses deux arrêts sans les toucher. Pour le cas particulier de l'indicateur *Paul Garnier*, il faut s'assurer en outre, que la corde à boyau n'est pas trop courte; car ce défaut ferait prendre du mou au cordon de l'indicateur à l'arrivée au point mort bas, et pour l'autre point mort, la corde à boyau ne resterait pas tangente à la poulie à gorge.

L'instrument fonctionnant bien, on établit sa communication avec l'un des bouts du cylindre, le bas par exemple; on laisse faire deux ou trois tours, puis on abaisse le crayon pendant la course d'évacuation. La courbe est tracée dans un tour de la machine et le crayon est relevé. — La communication étant ensuite établie pour l'autre bout du cylindre, on trace de même la courbe correspondante. — Pour tracer la ligne atmosphérique, la communication de l'indicateur avec le cylindre de la machine est supprimée, et le robinet de purge A', *fig.* 11, *pl.* IX, est ouvert à l'atmosphère. On fait jouer le ressort de l'indicateur en appuyant sur sa tige ou sur son porte-crayon, pour s'assurer que la communication est bien établie; puis on abaisse le crayon pour tracer la ligne atmosphérique, opération qui se fait dans une seule course, et on met ensuite l'indicateur au repos.

A cet effet, il faut décrocher son cordon. Cette opération s'effectue de la manière suivante : le cordon étant pris à la main, mais sans

être serré, on avance la main de manière que l'on puisse saisir l'anneau allongé un peu avant la fin de course, et dès qu'on tient cet anneau, on le décroche vivement, par un mouvement effectué dans le sens de la course montante du piston.

Pour les machines à très-grande vitesse, l'installation dont il est parlé dans ce numéro est indispensable.

Quoi qu'il en soit, quand l'indicateur est au repos, le cylindre porte-papier est démonté, le papier est enlevé et remplacé par un autre. On inscrit ensuite sur la feuille des courbes relevées, les indications d'usage, savoir : *nom du bâtiment*, — *numéro ou repère du cylindre*, — *date et heure*, — *pression de la vapeur aux chaudières et au tuyau de vapeur*, — *ouverture des valves*, — *introduction fixe ou par l'organe de détente variable*, — *vide au condenseur*, — *nombre de tours*, — *pression barométrique*, — *flexion du ressort de l'indicateur*.

Les feuilles de papier sont préalablement coupées de longueur; voici comment il faut procéder pour en mettre une en place. Commencer par engager un des angles sous la plus longue branche de la fourchette *h*, *fig.* 11 et 12, *pl.* IX, puis enrouler cette feuille de papier sur le cylindre H, et venir engager l'autre angle sous la petite branche de la fourche; joindre alors les deux bouts de la bande de papier, tirer pour bien appliquer ce papier contre le cylindre H, en maintenant la tête de la fourchette de la main gauche, et faire glisser le papier jusqu'au bas. Le papier est ensuite plié contre les branches de la fourchette et se trouve ainsi maintenu. — Quelquefois, pour plus de facilité, on forme d'avance l'onglet de la grande branche de la fourchette. — Le cylindre porte-papier est ensuite remis en place à son repère, et on est prêt à relever une nouvelle courbe.

N° 67₄ Indicateur continu, compteur enregistrant de Ashton. Les diagrames relevés avec les indicateurs ordinaires, à des intervalles plus ou moins grands, ne donnent la puissance exacte de la machine que pour les instants où on a relevé les courbes. On peut, il est vrai, tenir compte du nombre moyen de tours correspondant à la période entière des expériences; (n° 68₂); mais il n'en résulte pas moins beaucoup d'*aléa* dans la mesure de la puissance des machines. MM. *Ashton* et *Storey* ont imaginé un indicateur continu, compteur enregistrant, qui permet de totaliser le travail effectif d'une machine pour une période quelconque de fonctionnement. Cet indicateur est représenté par la *fig.* 13, *pl.* IX, dont voici l'explication : Fig. 13, Pl. IX.

A petit cylindre de l'instrument, dont les extrémités sont mises en communication avec les bouts du cylindre de la machine par les tubulures 1,1′, munies de robinets.

Sur ces tubulures se raccordent les petits robinets 2, qui permettent de mettre le cylindre A en communication avec l'atmosphère.

a piston de l'indicateur. La tubulure 1 communiquant avec le haut du cylindre moteur et la tubulure 1′ avec le bas de ce cylindre, le piston *a* monte ou descend en vertu de la pression effective exercée sur le piston de la machine.

B boîte rectangulaire qui renferme tout le mécanisme, et sur laquelle sont montés les supports des diverses pièces mobiles.

b tige du piston de l'indicateur. Sur l'extrémité de cette tige est fixé le talon 3 du ressort R; le talon 3′ du même ressort est fixé au couvercle de la boîte B, au moyen d'une tige taraudée, serrée par un écrou et un contre-écrou.

C disque en bronze, à bords arrondis, fixé sur la tige *b*, et que l'on nomme *roue intégrante*.

c long pignon faisant corps avec la roue intégrante C, et actionnant le compteur enregistrant. Le mouvement de rotation de la roue C et du pignon *c* est indépendant de la tige *b*; mais ces pièces sont entraînées dans les mouvements de montée et de descente de la tige *b*, par les colliers 4,4 qui sont fixés sur cette tige par des vis.

D disque en bronze tournant sur un axe perpendiculaire à la tige *b* du piston de l'indicateur, et actionnant la roue C par frottement. Le contact est assuré par la poussée du ressort 5, dont on règle la tension au moyen d'une vis de pression.

d pignon denté droit, recevant le mouvement d'une pièce actionnée par le piston de la machine. L'axe de ce pignon est emprisonné, avec un certain jeu, dans les supports 6,6, dont les extrémités forment palier.

E roue droite actionnée par le pignon *c*. L'axe de cette roue est supporté par le petit montant 7 fixé à la boîte B. Sur les *vues* 1° et 2°, les deux bras du montant 7 ont été coupés, et tout le système E,*e*, a été reporté vers la paroi de la boîte B, afin de montrer sa disposition et de rendre la figure plus claire.

e,*e′* axe de la roue E, et transmission de mouvement de cet axe à l'enregistreur. Les deux parties *e*,*e′* sont reliées par un joint à la cardan. L'extrémité de *e′* est taillée en vis sans fin pour actionner la roue F.

Sur les *vues* 1° et 2°, les axes *e*,*e′*, devraient se projeter sur la tige *b*.

F roue hélicoïdale recevant un mouvement de rotation de la tige *e′*, et transmettant ce mouvement au compteur.

G compteur enregistreur. Ce système est formé d'une série de pignons et de roues dans le rapport constant de 1 à 10, de telle sorte que chaque roue fait un tour pour 10 tours du pignon qui l'actionne. Sur l'axe de chaque roue se trouve une aiguille qui indique sur un cadran, les tours accomplis en sus des dizaines accusées par l'aiguille du cadran suivant.

H cylindre porte-papier pour relever des courbes comme à l'ordinaire, et muni d'une poulie à gorge pour recevoir le cordon qui, d'autre part, est actionné par le piston de la machine. Ce cordon passe sur la poulie de retour 8.

h support du cylindre porte-papier H. Ce support est ajusté à queue d'aronde dans la glissière 9 fixée à la boîte B, de telle sorte que tout le système peut avancer ou reculer dans le sens perpendiculaire à la *vue* 1°.

K porte-crayon pour le cylindre H. Ce porte-crayon est fixé à demeure sur le collier supérieur 4 près duquel se trouve une articulation; le bras 10, monté avec articulation sur le support *h*, sert à appuyer le crayon K contre le cylindre porte-papier H, sans que l'on ait besoin de toucher ce porte-crayon avec la main.

Voici maintenant comment fonctionne l'instrument.

Chacun des bouts du cylindre A étant en communication avec une des extrémités du cylindre de la machine, le piston *a* est soumis aux mêmes pressions que le cylindre moteur, et la tension du ressort R mesure la différence de ces pressions. Lorsque cette différence est nulle, le piston *a* est à demi-course, et le plateau C est juste à la hauteur du centre du disque D. Ce dernier recevant son mouvement du piston moteur, à l'aide d'une transmission convenable,

tourne tantôt dans un sens et tantôt dans un sens contraire. Lorsque le plateau C ne se trouve pas à la hauteur de l'axe du disque D, ce plateau reçoit un mouvement de rotation qui est ensuite transmis au compteur.

Partons du point mort bas du piston moteur, l'introduction a lieu par le bas du cylindre A, et l'évacuation a lieu par le haut. Le piston *a* est repoussé vers le haut de son cylindre, jusqu'à ce que le ressort R étant suffisamment comprimé, sa tension fasse équilibre à la pression effective sur le petit piston *a*. Le plateau C s'élève, et vient occuper, par exemple, la position pleine de la *vue* 3°. Ce plateau reçoit alors un mouvement angulaire de rotation proportionnel à celui que le piston donne au disque D, multiplié par la distance du plateau C au centre de ce disque. Or, cette dernière distance est proportionnelle à la pression effective sur le piston *a* et par suite sur le piston moteur. Donc le mouvement angulaire du plateau C, est proportionnel au travail effectif développé sur le piston moteur.

Quand l'introduction cesse et que la détente se produit, la pression effective sur le piston *a* diminue ; le ressort R est moins comprimé, et le plateau C descend. Pendant la période d'évacuation, et juste au moment où la pression est égale sur les deux faces du piston moteur, par suite de la compression du haut, au point où se croisent les deux courbes d'indicateur, le plateau C se trouve juste au centre du disque D. Puis la pression effective devient négative jusqu'à la fin de course; le plateau C passe alors au-dessous du centre du disque D, et comme le sens du mouvement de ce disque n'a pas encore changé, le plateau C prend un mouvement de sens contraire au premier, et le compteur retranche du travail effectif déjà enregistré, tout le travail négatif qui est produit jusqu'à la fin de course.

Au point mort haut du piston moteur, le piston *a* est renvoyé dans le bas de son cylindre, le ressort R agit par extension pour résister à la pression effective, et le plateau C prend la position pointillée *vue* 3°. A ce même point mort, le mouvement du disque D change de direction; mais le plateau C étant au-dessous de l'axe de ce disque, ce plateau tourne dans le même sens que précédemment pour enregistrer le travail effectif.

Cet instrument, déjà répandu en Angleterre, n'est pas encore employé en France; l'expérience a montré qu'il fonctionne bien et que l'usure du plateau C est inappréciable. Sa graduation est faite pour que chaque unité du grand cadran corresponde à 1000 pieds-livres par pouce circulaire. La transmission de mouvement du piston moteur au disque D, est telle que ce disque fait un tour par pied de course du piston moteur. Le rayon du plateau C étant de 1 pouce, et la flexion du ressort R étant de 1 pouce pour 25 livres par pouce circulaire, le plateau C fait un tour en même temps que le disque D, et ce mouvement angulaire correspond à 25 pieds-livres par pouce circulaire de la surface du piston. Il n'y a plus qu'à régler la transmission de mouvement du plateau C au compteur, pour que la grande aiguille de celui-ci parcoure une unité de son cadran pour 1000 pieds-livres par pouce circulaire.

Pour évaluer le travail enregistré au bout d'un certain temps de fonctionnement, on a :

Travail total en pieds-livres. . . . . $= 1000\,(N-n)\,D^2$

Travail moyen en chevaux de 33.000 pieds-livres par minute } . . . . $= \frac{(N-n) D^2}{33m}$

Expressions dans lesquelles les lettres ont les significations suivantes :

D diamètre du piston moteur en pouces.
n nombre lu au compteur à l'origine de la période d'observation.
N nombre lu au compteur à la fin de la période d'observation.
m nombre de minutes écoulées entre les deux lectures.

Il serait facile de faire une graduation semblable exprimant des kilogrammètres.

La transmission de mouvement du piston de la machine au disque D peut être faite d'une manière quelconque, pourvu que les mouvements soient proportionnels. La *vue* 5° repésente une disposition que l'on peut employer. La crémaillère Q, actionnée par la tige du piston moteur, actionne à son tour une roue dentée U, dont l'axe porte un pignon qui engrène avec la roue *d*, *fig.* 13, *pl.* IX.

Quand on veut relever des courbes, comme à l'ordinaire, sur le cylindre H, on supprime la transmission de mouvement du piston moteur à l'indicateur continu, et on l'établit sur le cylindre H. Le cylindre A de l'instrument est mis en communication, alternativement avec le bas et le haut du cylindre moteur, et on opère comme d'habitude.

N° 68. — 1. Détermination de l'effort moyen sur les pistons d'après les courbes d'indicateur. — 2. Calcul du travail sur les pistons dans les machines ordinaires, à l'aide de l'effort moyen déduit des courbes d'indicateur. — 3. Calcul du travail développé sur les pistons dans une machine Woolf. — 4. Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines ordinaires. — 5. Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines Woolf.

N° 68_1 Détermination de l'effort moyen sur les pistons d'après les courbes d'indicateur. — Actuellement, l'effort moyen qui entre dans le calcul de la puissance des machines, s'exprime toujours en kilogrammes par centimètre carré. La flexion des ressorts de l'indicateur (n° $67_{1 \text{ et } 2}$) est fixée d'après la même unité, et d'autre part, pour les nouvelles machines, la pression effective aux chaudières est aussi exprimée en *Km* par *Cm.C.*

Nous avons déjà expliqué au n° 223_8 du *Grand Traité*, la manière de déduire l'effort moyen sur le piston d'une machine; il ne nous reste qu'à faire connaître la méthode pratique aujourd'hui en usage.

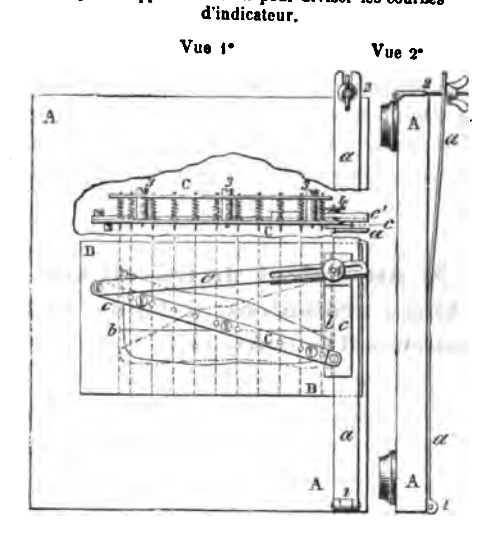
Appareil Masson pour diviser les diagrammes. — *M. Masson*, contre-maître aux ateliers des machines du port de Brest, a imaginé, pour

diviser les diagrammes, le petit appareil représenté par la *fig.* 56 dont voici la description :

Vue 1°. Plan de l'appareil, les courbes d'indicateur et le diviseur en place.
Vue 2°. Rabattement à droite de la planchette.
Vue 3°. Élévation du diviseur (dans la déchirure de la *vue* 1°).

Sur l'un des bords de la planchette A, parfaitement dressée, se trouve fixée la lame métallique *a*, formant ressort : cette lame *a* est articulée par son extrémité 1, et serrée contre la planchette par l'autre extrémité, au moyen d'un boulon articulé 2, pénétrant dans une entaille de la lame *a* et retenue par un écrou à oreilles. — La feuille de papier B sur laquelle sont tracées les courbes d'indicateur, est pincée sur un de ses bords par la lame *a*, et cette feuille est orientée, au moyen d'une équerre appliquée contre la lame *a*, de manière que cette dernière soit tangente aux courbes et normalement à la ligne atmosphérique *bb*.

Fig. 56. Appareil Masson pour diviser les courbes d'indicateur.



Le diviseur C est formé de deux lames parallèles maintenues à distance par les douilles et vis 3; il porte 11 styles en laiton, semblable à celui de l'indicateur. Ces styles sont mis en place avant que les deux lames du diviseur soient fixées l'une à l'autre; ils portent une embase qui, au repos, appuie sur la lame inférieure; et entre cette embase et la lame supérieure se trouve un petit ressort à boudin destiné à appuyer le style sur le papier. Ces styles sont espacés des quantités qui correspondent aux ordonnées extrêmes d'un diagramme, et aux ordonnées menées par les milieux des divisions égales de la ligne atmosphérique. Il manque un douzième style, à droite, qui tracerait la ligne du bord de la lame *a*, laquelle ligne est tracée directement à la main. — Le diviseur C est monté avec articulation sur une traverse *c*, façonnée comme le rebord d'une équerre à chapeau ; cette traverse s'applique contre la lame *a*, et sert de guide à l'instrument. Une deuxième traverse *c'*, articulée à l'extrémité de C, vient se fixer sur la traverse *c*, au moyen de la vis 4 taraudée dans cette dernière, et passant dans une mortaise pratiquée sur l'extrémité de *c'*. Par cette disposition, on peut régler le diviseur pour que la traverse *c* étant appliquée sur la règle *a*, le dernier style de gauche passe par l'extrémité de la ligne atmosphérique.

L'instrument ainsi disposé, il n'y a plus qu'à le faire glisser sur le papier des courbes, en tenant la traverse *c* appliquée contre la lame *a*, et les courbes sont divisées.

Pour déterminer l'ordonnée moyenne, on enlève la feuille de papier en desserrant le boulon 2, puis on rectifie les courbes si les ondulations sont très-prononcées (nos 223_3 et 224_2 du *Gd Traité*); on peut alors faire la somme des ordonnées. A cet effet, on se sert d'une règle graduée en demi-millimètres et qu'on munit d'un curseur. Le zéro de la règle étant placé sur l'extrémité de la première ordonnée, on amène le curseur sur l'autre extrémité et on le fixe; la règle est ensuite posée sur la deuxième ordonnée de manière que la pointe du curseur soit sur une de ses extrémités, puis, en maintenant la règle immobile, on desserre le curseur et on le porte sur l'autre extrémité de l'ordonnée et ainsi de suite. On ajoute de cette manière toutes les ordonnées, et le nombre lu en regard de l'index du curseur dans sa dernière position, en donne la somme que l'on écrit en millimètres; le simple déplacement de la virgule d'un rang sur la gauche, donne l'effort moyen, exprimé en millimètres de flexion du ressort de l'indicateur, que l'on transforme ensuite en kilogrammes par centimètres carrés.

N° 68_2 Calcul du travail sur les pistons dans les machines ordinaires, à l'aide de l'effort moyen déduit des courbes d'indicateur. — Soient : p_1, p_2, p_3,.... p_n, les efforts moyens en *Kg* par *Cm.C* déduits des courbes d'indicateur pour chacun des cylindres ordinaires que possède la machine. Chacun de ces efforts étant le résultat de la moyenne entre la courbe du bas et celle du haut du cylindre correspondant, on a, en désignant par P l'effort moyen général :

$$P = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \ldots\ p_n}{n}.$$

Soient :

A le nombre des cylindres égaux de la machine.
D en mètres, le diamètre de ces cylindres.
C en mètres, la course des pistons.
P en *Kg* par *Cm.C*, l'effort moyen déduit comme ci-dessus des courbes d'indicateur.
N le nombre de tours de la machine par minute.

On a évidemment :

$$\left.\begin{array}{c}\text{Pression totale effective}\\ \text{sur chaque piston}\end{array}\right\} = 10.000\,\frac{\pi D^2}{4} \times P \text{ kilogrammes.}$$

$$\left.\begin{array}{c}\text{Travail par course}\\ \text{sur chaque piston}\end{array}\right\} \ldots = 10.000\,\frac{\pi D^2 CP}{4} \text{ kilogrammètres.}$$

La machine faisant N tours par minute, chaque piston fait $\frac{2N}{60}$ courses par seconde. Dès lors, le travail par seconde dans chaque cylindre vaut :

$$t^{km} = 10.000 \frac{\pi D^2 CP \times 2N}{4 \times 60}.$$

Il suffit de multiplier cette expression par A pour obtenir le travail total de la machine par seconde, et en divisant par 75, on aura ce travail en chevaux *indiqués réalisés*. En représentant ce travail par F, il vient :

$$F^{ch} = \frac{10.000 \times \pi D^2 C \times P \times 2N \times A}{4 \times 60 \times 75} = \frac{AD^2 CNP}{0,28647}.$$

Cette expression ne diffère de l'expression (β') que nous avons donnée au n° 112_4 du *Grand Traité*, que dans la manière d'écrire le coefficient numérique, et le changement d'unité pour l'effort moyen P, qui est ici exprimé en *Kg* par *Cm.C*, au lieu d'être exprimé en *Cm* de mercure.

Détermination de la puissance moyenne développée sur les pistons pendant les essais. — Les essais d'un bâtiment ont toujours lieu le long d'une base mesurée, et on effectue plusieurs parcours, deux à deux de sens inverses, pour obtenir la vitesse moyenne. Pendant la durée de chaque parcours, on relève, à intervalles égaux, deux courbes par cylindre, une pour le bas, l'autre pour le haut. On obtient ainsi pour chaque intervalle, une série de diagrammes qui correspondent tous au même nombre de tours de la machine par minute. Mais outre que ce nombre de tours peut n'être pas le même pour toutes les séries d'un même parcours, il arrive rarement que le nombre de tours moyen déduit du compteur, pour tout le parcours, soit égal à la moyenne des nombres de tours inscrits sur les diagrammes. Dès lors, la force moyenne déduite des diagrammes doit différer de la force moyenne réellement développée.

Dans ces conditions, on ne calcule pas la force indiquée qui correspond à chaque série de diagrammes d'un même parcours, mais seulement les efforts moyens P_1, P_2, P_3..., etc. P_n, qui correspondent à ces séries, pour lesquelles on a constaté les nombres de tours N_1, N_2, N_3..., N_n par minute. Ces valeurs servent à déterminer, pour chaque parcours, la valeur P de l'effort moyen qui correspond au nombre N de tours par minute déduit du compteur. Le moyen le plus exact de déterminer P, consiste à tracer une courbe ayant pour abcisses les diverses valeurs N_1, N_2, N_3..., N_n, et pour ordonnées les valeurs correspondantes P_1, P_2, P_3..., P_n. L'ordonnée qui correspond sur cette courbe à l'abcisse N_f est la valeur de P pour le parcours que l'on considère, et l'on

peut calculer le travail correspondant en chevaux de 75^{km} développés sur les pistons.

La puissance réelle moyenne développée sur les pistons pendant la durée totale de l'essai, se déduit de la puissance développée pendant chaque parcours et de la durée de ce parcours, soient :

$F_1, F_2, F_3, \ldots. F_n$ les puissances développées dans les divers parcours,
$t_1, t_2, t_3, \ldots. t_n$, les durées de ces parcours.

On a :

$$F = \frac{F_1 t_1 + F_2 t_2 + F_3 t_3 + \ldots . F_n t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \ldots . t_n}.$$

Si par suite des circonstances on n'a pu faire qu'un nombre impair de parcours, l'avant-dernier doit entrer deux fois dans la moyenne, afin d'égaliser autant que possible l'influence des circonstances favorables et des circonstances défavorables.

On détermine de la même manière la vitesse moyenne du bâtiment.

N° 68_3 Calcul du travail développé sur les pistons dans une machine Woolf. — Dans les machines Woolf en usage, tous les pistons ont généralement la même course; les cylindres admetteurs et les cylindres détendeurs diffèrent seulement par leurs diamètres. L'effort moyen étant déduit des courbes d'indicateur qui correspondent à chaque catégorie de cylindres (n° 68_1), on a, en affectant de l'indice 1 ce qui se rapporte aux cylindres admetteurs :

$$f_1^{ch} = \frac{A_1 D_1^2 CNP_1}{0,28647}, \text{ et } f^{ch} = \frac{AD^2CNP}{0,28647}.$$

La puissance totale de l'appareil sera exprimée par :

$$F^{ch} = \frac{CN}{0,28647}(A_1 D_1^2 P_1 + A D^2 P).$$

Effort moyen pratique. — On sait (n° 105_6 du *Grand Traité*) que théoriquement, dans les machines Woolf, les choses se passent au point de vue du travail de la vapeur, comme si les cylindres détendeurs existaient seuls, et qu'on admit directement dans ces cylindres, la quantité de vapeur de la chaudière qui entre à chaque coup de piston dans les cylindres admetteurs. — L'effort moyen qui aurait dû agir sur les pistons des cylindres détendeurs, pour produire dans ces cylindres tout le travail de la machine fonctionnant au Woolf, se nomme l'*effort*

moyen pratique propre à la machine ordinaire équivalente. Cet effort moyen pratique a pour valeur :

$$P_p = \frac{A_1D^2_1P_1 + AD^2P}{AD^2} = \frac{A_1D^2_1P_1}{AD^2} + P.$$

Effort moyen fictif. — L'effort moyen fictif est la valeur qu'aurait dû avoir l'effort moyen sur tous les pistons pour produire le même travail que les efforts moyens réels. Cet effort moyen fictif a pour valeur :

$$P' = \frac{A_1D^2_1P_1 + AD^2P}{A_1D^2_1 + AD^2},$$

La considération de l'effort moyen fictif est peu usitée.

N° 68, Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure. — Nous avons expliqué au n° 112_6 du *G^d Traité*, la manière de déterminer le poids de vapeur que consomme par heure, une machine ordinaire fonctionnant à un régime déterminé. En divisant l'expression de cette dépense par le nombre de chevaux développés sur les pistons, on obtiendra la quantité de vapeur dépensée par cheval et par heure.

Poids de vapeur sensible aux cylindres dans une machine ordinaire. On à d'abord :

(*a*) Poids de vapeur sensible aux cylindres par heure $\left.\right\} = \frac{\pi D^2 C'}{4} \times A \times 2 \times 60N \times d = 94{,}248\, A\, D^2C'Nd.$

Expression dans laquelle on désigne par :

A le nombre des cylindres qui reçoivent directement la vapeur.
D en mètres, le diamètre de ces cylindres.
C' en mètres, la fraction de course des pistons pendant laquelle il y a introduction, ou plus généralement, une fraction arbitraire de la course des pistons s'étendant depuis le commencement de cette course jusqu'à un point situé entre la fin de l'introduction relative au régime considéré et le commencement de l'évacuation. Cette valeur de C' doit être augmentée d'une quantité correspondante au volume des espaces neutres, quantité que l'on obtient en multipliant la course du piston par le rapport du volume de l'espace neutre, d'un côté du cylindre, au volume total engendré par le piston dans une course.
N le nombre de tours de la machine par minute.
d le poids du mètre cube de la vapeur renfermée dans le cylindre à l'instant où le piston est parvenu à la fraction C' de sa course.

Le plus souvent, on choisit pour C' la valeur qui correspond à la fin de l'introduction pour chaque bout de cylindre, et on fait la moyenne.

La valeur de *d* se détermine au moyen de la *Table* I, *Tome* I, en prenant pour argument la pression absolue de la vapeur mesurée sur les courbes d'indicateur à la fin de l'introduction. Mais si la machine fonctionne avec un organe de détente qui ne ferme pas hermétiquement, ce qui a lieu fréquemment, il faut employer la méthode *Labrousse;* voici en quoi consiste cette méthode.

Suivant la quantité de chaleur qu'un cylindre est capable de fournir à la vapeur pendant qu'elle travaille avec détente, et suivant l'état de ce fluide à la fin de l'introduction, la vapeur se condense ou bien elle se sèche; elle peut même se surchauffer légèrement. C'est à l'aide de la relation $PV^{\alpha} = P_0V_0 =$ *constante*, (n° 7_5) qu'on peut connaître de quelle manière se comporte la vapeur pendant l'expansion. — Si $\alpha = 1$ pour divers points de la course situés après l'introduction, la vapeur reste saturée sèche ou à peu près. Dans ce cas, le poids de vapeur sensible dans le cylindre est celui qui correspond à la fin de l'introduction. — Si α est plus grand que 1, il y a condensation pendant la détente. Dans ce cas, c'est encore sur la fin de l'introduction qu'il faut calculer le poids de vapeur sensible au cylindre. — Si α devient inférieur à 1, il y a vaporisation pendant la détente, voire même légère surchauffe (à moins qu'il n'y ait fuite de vapeur par le distributeur. Dans ce cas, le point de la course pour lequel PV est maximum est celui qui correspond à l'existence de la plus grande quantité de vapeur sensible dans le cylindre.

Le calcul de la dépense de vapeur en prenant pour fin d'introduction le point de la course pour lequel le produit PV est maximum, constitue la méthode *Labrousse.* Nous devons prévenir qu'il arrive assez souvent, dans les machines ordinaires à moyenne pression, que ce point correspond précisément au moment de l'ouverture de l'évacuation. Dans ce cas, il reste encore de l'eau au cylindre.

La détermination du point de la course pour lequel PV est maximum, s'effectue de la manière suivante : on commence par allonger la ligne atmosphérique, du côté de l'introduction, d'une quantité représentant la valeur de l'espace neutre, et on a ainsi l'origine de V. A l'aide de l'échelle de flexion du ressort de l'indicateur, on trace au-dessous du diagramme, la ligne de pression nulle. Puis on prend, sur la ligne atmosphérique, trois points situés : le premier vers la fin de l'introduction, le second un peu avant l'avance à l'évacuation, et le troisième intermédiaire. Pour chaque point, le produit de la longueur prise sur la ligne atmosphérique depuis l'origine de l'espace neutre

jusqu'au point considéré, par l'ordonnée correspondante limitée à la courbe et à la ligne de pression nulle, donne le produit PV. Les valeurs de P et de V se prennent en millimètres. Ces trois produits effectués, on marque un ou deux points intermédiaires entre le plus fort produit et celui qui le précède ou qui le suit, et ainsi de suite; de proche en proche, on arrive au produit maximum. En pratique, il n'est pas utile de faire varier les volumes V de quantités moindres qu'un demi-dixième de la course du piston. — Le produit maximum PV étant trouvé, la longueur prise sur la ligne atmosphérique et qui représente V, sert à déterminer C′. D'autre part, l'ordonnée correspondante à ce produit sert à déterminer la densité *d*.

Lorsque les valeurs de C′ ainsi trouvées diffèrent sensiblement, il convient de faire la moyenne des densités *d* autrement que par la demi-somme des deux valeurs qui correspondent à chaque cylindre. En désignant par :

$V_1, V_2, V_3 \ldots V_n$, les valeurs de V qui correspondent à chaque bout des cylindres, mesurées en millimètres sur les lignes atmosphériques ramenées à la même longueur;

$P_1, P_2, P_3, \ldots P_n$, les valeur correspondantes de la pression absolue de la vapeur, à la même échelle de flexion ;

V et P, les valeurs à employer dans le calcul de la dépense de vapeur;

on a :

$$V = \frac{V_1 + V_2 + V_3 \ldots + V_n}{n}$$

$$P = \frac{P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3 + \ldots P_nV_n}{V_1 + V_2 + V_3 \ldots + V_n}.$$

Et ce sont ces dernières valeurs de V et de P qu'il faut employer pour déterminer C′ et *d*.

Poids de vapeur par cheval et par heure dans une machine ordinaire. — Le poids de vapeur sensible, dépensée par cheval et par heure est égal à l'expression (*a*) ci-dessus, divisée par la puissance indiquée. Or, pour une machine ordinaire, cette dernière a pour valeur (n° 68_2) :

$$F^{ch} = \frac{AD^2CNP}{0,28647}.$$

Il vient par suite :

$$\left.\begin{array}{r}\text{Poids de vapeur dépensée par cheval}\\ \text{et par heure dans une machine ordinaire}\end{array}\right\} = \frac{94,248\,AD^2C'Nd \times 0,28647}{AD^2CNP} = 27\,\frac{C'd}{CP}.$$

N° 68_5 Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines Woolf. — Dans les machines Woolf, les cylindres admetteurs reçoivent seuls directement la vapeur des chaudières. Par suite, en principe, c'est sur ces cylindres seulement qu'il faut calculer le poids de vapeur sensible dépensée par la machine.

Poids de vapeur sensible aux cylindres. — La formule (*a*) du n° 68_4 est applicable aux cylindres admetteurs des machines *Woolf*. Mais ici, il y a lieu de considérer que si dans les machines ordinaires la quantité de vapeur renfermée dans les espaces neutres à la fin de l'introduction, est négligeable, il n'en est plus de même pour les cylindres admetteurs des machines Woolf. En effet, les espaces neutres de ces cylindres renferment à la fin de la période de compression, de la vapeur qui a une tension relativement élevée et dont il faut tenir compte, car elle est à dépenser en moins à chaque coup de piston.

Après avoir calculé le poids de vapeur sensible aux cylindres admetteurs, comme si ces cylindres étaient indépendants, il faut retrancher du résultat, le poids de vapeur sensible contenu dans les espaces neutres au moment où l'introduction commence. Ce calcul du poids de vapeur sensible peut être effectué au moyen de la relation :

$$(b)\ \left.\begin{array}{r}\text{Poids de vapeur sensible, par heure, aux}\\ \text{cylindres admetteurs des machines Woolf}\end{array}\right\} = 94{,}248\, A_1 D_1^2 N\, (C'_1 d_1 - C''_1 d'_1).$$

Cette expression est déduite de la relation (*a*) du n° 68_4, en représentant par :

A_1 le nombre des cylindres admetteurs.
D_1 en mètres, le diamètre de ces cylindres.
C'_1 en mètres, la portion de course qui correspond à la fin de l'introduction ou au produit PV maximum, en tenant compte du volume des espaces neutres.
C''_1 en mètres, la portion de course qui correspond au volume de l'espace neutre pour un bout de cylindre.
d_1 en kilog., le poids du mètre cube de vapeur lorsque le piston est au point C'_1 de sa course.
d'_1 en kilog., le poids du mètre cube de vapeur renfermée dans l'espace neutre quand le piston commence une nouvelle course.
N le nombre de tours de la machine par minute.

On peut calculer le poids de vapeur sensible aux cylindres détendeurs, en les considérant comme des cylindres ordinaires et en appliquant alors la relation (*a*) du n° 68_4.

Il est bon d'effectuer le double calcul, pour les cylindres admetteurs et pour les cylindres détendeurs, afin de se rendre compte de

quelle manière se comporte la vapeur qui se détend au Woolf dans la machine que l'on considère.

Poids de vapeur dépensée par cheval et par heure dans les machines Woolf. — En divisant l'expression (*b*) ci-dessus ou l'expression (*a*) du n° 68_4, suivant que l'on a calculé le poids de vapeur sensible dépensée dans les cylindres admetteurs ou dans les cylindres détendeurs, par la puissance indiquée sur les pistons, on obtient le poids de vapeur dépensée par cheval et par heure. La division algébrique des expressions (*a*) et (*b*) par l'expression de la puissance des machines Woolf, ne conduit pas à une simplification appréciable des calculs numériques. Le mieux est par suite, de calculer chaque expression séparément et de faire ensuite la division indiquée.

N° 68_6 Appareil Knigt pour la détermination du poids d'eau entraînée par la vapeur. — Le calcul à l'aide des courbes d'indicateur, du poids de vapeur dépensée par une machine, ne tient pas compte de l'état d'humidité de la vapeur, et les résultats trouvés sont toujours inférieurs à la dépense réelle. Généralement, la vapeur est humide à son arrivée dans le cylindre, et cet état d'humidité augmente pendant le travail de la vapeur, à moins que l'action de la chemise ne soit très-énergique, ce qui n'est pas avantageux. Il faudrait par suite, augmenter les résultats ci-dessus d'une certaine quantité correspondant à la chaleur que renferme l'eau entraînée par la vapeur. — M. *Knigt* a imaginé un appareil destiné à mesurer cette quantité d'eau. Voici en quoi consiste cet appareil :

Le tuyau de vapeur est coupé pour recevoir une boîte très-allongée portant deux soupapes d'arrêt : l'une à l'entrée, l'autre à la sortie. Un tuyau de vapeur supplémentaire, muni d'une soupape d'arrêt sur son parcours, relie la partie du tuyau de vapeur en avant de l'appareil à la partie de ce tuyau situé après l'appareil. — La boîte dont il s'agit est munie d'un couvercle démontable, qui permet d'introduire dans l'intérieur une sphère creuse en cuivre. La position de la sphère est déterminée pour que deux robinets dont elle est munie aux extrémités d'un même diamètre, se trouvent dans l'axe même du courant de vapeur. Un troisième robinet, placé dans le bas, sert à purger cette sphère. Les trois robinets se manœuvrent de l'extérieur, au moyen de tringles traversant des presse-étoupe, et dont les extrémités intérieures sont percées en carré pour recevoir le bout des tournants des robinets. Voici comment fonctionne l'appareil :

La sphère étant mise en place dans la boîte, cette dernière est fermée par son couvercle. On ouvre les trois robinets de la sphère, et les deux soupapes d'arrêt de la boîte en maintenant fermée celle du tuyau supplémentaire. Au

bout d'un certain temps de fonctionnement, la sphère est pleine de vapeur, et ce fluide est dans le même état d'humidité que celui qui pénètre dans le cylindre. On ferme alors les trois robinets de la sphère; on ouvre la soupape d'arrêt du tuyau supplémentaire, puis on ferme les deux soupapes d'arrêt de la boîte. Cette dernière est alors ouverte; la sphère est retirée, essuyée et pesée. En diminuant ce poids de la tare, on a le poids de la vapeur humide qui remplit la sphère. L'excès de ce poids sur celui de la vapeur sèche qui aurait même volume, donne le poids d'eau entraînée. Le poids du volume de vapeur sèche se prend dans les tables de Regnault; un manomètre monté sur la boîte indique la pression, et un thermomètre fixé à cette boîte et dont le réservoir plonge dans la vapeur, indique la température. Il y a lieu de remarquer que la détermination du poids d'eau qu'entraîne la vapeur par la méthode indiquée ci-dessus, présente beaucoup d'*aléa*, en raison de ce que le poids de la sphère est une fraction considérable du poids total.

On trouvera au n° 8_7 des développements sur l'usage que l'on peut faire de la connaissance du poids de l'eau entraînée par la vapeur dans les cylindres.

Au point de vue particulier qui nous occupe, le poids q^{kg} d'eau qu'entraîne 1^{kg} de vapeur sèche à la température T, alors que cette eau n'est entrée dans la chaudière qu'à la température t, correspond à un poids de vapeur égal à

$$Q' = \frac{q(T-t)}{606{,}5 + 0{,}305T - t}.$$

Il faut ajouter cette quantité au poids de vapeur déduit des courbes d'indicateur, mais en calculant cette fois, la dépense de vapeur sur la fin de l'introduction. Il restera bien encore une légère erreur, provenant de ce que la température est un peu plus faible dans le cylindre que dans le tuyau de vapeur, mais cela n'a pas grande importance au point de vue pratique, pourvu que la valve soit suffisamment ouverte.

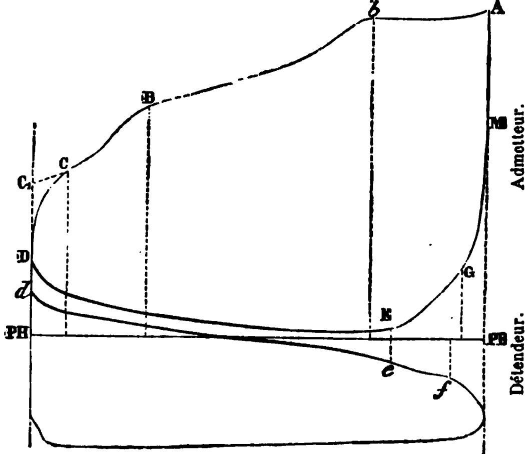
N° 69. — 1. Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf. — 2. Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres bout à bout points morts communs. — 3. Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres côte à côte points morts à 90°. — 4. Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°.

N° 69_1 Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf. — Dans les machines Woolf, les ouvertures à l'introduction du ou des cylindres détendeurs ne correspondent pas aux ouvertures à l'évacuation du cylindre admetteur; de plus, les premières fonctions ont une durée moindre que les secondes; enfin, il existe toujours

un certain volume d'espace neutre entre le cylindre admetteur et le ou les cylindres détendeurs. Toutes ces causes réunies font que les courbes d'indicateur du cylindre admetteur, du côté de l'évacuation, et les courbes des cylindres détendeurs, du côté de l'introduction, diffèrent quelquefois notablement des courbes d'indicateur relevées sur un cylindre ordinaire. — Pour analyser les courbes d'indicateur des machines Woolf, il est nécessaire de connaître la régulation des cylindres qui utilisent la même vapeur, ainsi que le volume de l'espace neutre qui existe entre ces cylindres. Au moyen de ces données, on peut construire une courbe donnant les variations des volumes en communication entre le cylindre admetteur et le ou les cylindres détendeurs ; cette dernière courbe permet ensuite de suivre les variations de pression que subit la vapeur que renferment ces volumes en communication. — La courbe des volumes en communication n'est pas indispensable pour les machines Woolf dont les cylindres conjugués ont les points morts communs, parce que les pistons ont constamment le même mouvement. Il suffit de reporter sur ces courbes, les points qui correspondent aux fonctions résultant de la régulation des tiroirs.

N° 69₂ Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres bout à bout points morts communs. — Les courbes *fig.* 57, appartiennent à la même paire de cylindres des machines du *Tourville*. La courbe supérieure est celle du bas du cylindre admetteur, et la courbe inférieure, celle du haut du cylindre détendeur correspondant. Les courbes des deux autres bouts des cylindres présentant les mêmes particularités, nous n'avons pas cru utile de les tracer.

Fig. 57 relative à l'analyse des courbes d'indicateur des machines Voolf, à cylindre bout à bout points morts communs. — Échelle = 20mm.



L'introduction variable au cylindre admetteur était réglée, lors du relevé de ces courbes,

aux 0,25 de la course pour le bas du cylindre admetteur. L'introduction naturelle vaut 0,75 pour le bas de ce cylindre et 0,80 pour le haut du cylindre détendeur. — Suivons ces courbes depuis l'introduction dans le cylindre admetteur jusqu'à l'évacuation au condenseur.

De A en *b*, c'est-à-dire pendant les 0,25 de la course, l'introduction a lieu dans le cylindre admetteur; la détente variable se produit de *b* en B, puis la détente naturelle a lieu de B en C. — Cette détente se serait continuée jusqu'en C_1, sans l'avance à l'évacuation. — Au point C, l'évacuation s'ouvre, et la communication du cylindre admetteur avec les espaces neutres compris entre les deux cylindres, occasionne une chute de pression égale à C_1 D, au moment où le piston arrive au point mort haut. A ce point mort, l'introduction du cylindre détendeur s'ouvre; mais la pression initiale, marquée par l'ordonnée du point *d*, est plus faible que la contre-pression dans le cylindre admetteur.

Les pistons renversent leur marche et la détente au Woolf se produit : la pression du cylindre détendeur et la contre-pression du cylindre admetteur diminuent simultanément; mais cette dernière conserve toujours une valeur plus élevée que la première; il y a même lieu de remarquer que l'écart va en augmentant à partir de la demi-course des pistons, à cause du rétrécissement de l'orifice du cylindre détendeur. — Aux points E, *e*, l'introduction du cylindre détendeur cesse; la vapeur renfermée dans ce cylindre se détend normalement suivant la courbe *ef*, puis cette vapeur est évacuée au condenseur. — La vapeur emprisonnée dans les espaces neutres est comprimée par la marche du piston du cylindre admetteur, et la pression de cette vapeur s'élève suivant EG. — Au point G, l'évacuation du cylindre admetteur se ferme, et la compression n'a plus lieu que dans ce cylindre, suivant GM, jusqu'à l'introduction suivante.

On remarque que la période de compression du cylindre admetteur est relativement forte, tandis que l'avance à l'évacuation est faible Cette dernière avance n'a pas besoin, en effet, d'atteindre les valeurs qu'on lui donne dans les machines ordinaires, puisque l'évacuation n'a pas lieu dans un condenseur. Toutefois, une avance plus forte ferait probablement augmenter un peu la pression initiale dans le cylindre détendeur, et diminuerait la perte qui résulte de ce que la courbe d'évacuation du cylindre admetteur et la courbe d'introduction du cylindre détendeur ne se confondent pas. Il faut chercher la raison de la forte compression et par suite de la faible avance à l'évacuation,

dans ce fait qu'il y a deux pistons qui agissent sur la même tige, que par suite l'inertie est plus grande que dans une machine à détente simple, et qu'en raison de la grande introduction du cylindre détendeur, il n'est pas possible de faire produire une compression suffisante dans ce dernier cylindre.

N° 69_3 Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres côte à côte points morts à 90°. — Sur la *fig.* 58, *vue* 1°, sont tracées les courbes sinussoïdales des deux pistons d'une des machines de l'*Hyène* (n° 28_3). L'indice $_1$ affecté aux lettres, désigne la courbe du cylindre admetteur. Les évacuations commencent au point B_1 pour le bas et au point E_1 pour le haut. Les compressions commencent aux mêmes points, en B_1 pour le haut et en E_1 pour le bas. — Les introductions du cylindre détendeur se terminent au point C pour le bas et au point F pour le haut. Nous n'avons pas tenu compte des avances.

La courbe brisée A'B'B"C'C"..., etc., représente les variations du volume de la vapeur qui passe du cylindre admetteur dans le cylindre détendeur. Voici comment cette courbe a été tracée :

Le volume du cylindre détendeur est triple de celui du cylindre admetteur ; d'autre part, le volume des espaces neutres est sensiblement égal au volume de ce dernier cylindre. Les pistons ayant même course, le volume du cylindre admetteur peut être représenté par une course, et celui du cylindre détendeur par trois courses; le volume des espaces neutres sera représenté par une course. L'échelle de construction a été prise égale à 1/4 par rapport aux courbes sinussoïdales. Comme le volume de l'espace neutre est invariable, on a pris AX = 1/4 de la course, et toutes les variations des volumes des cylindres en communication avec les espaces neutres, ont été mesurées à partir de XX parallèle à la base.

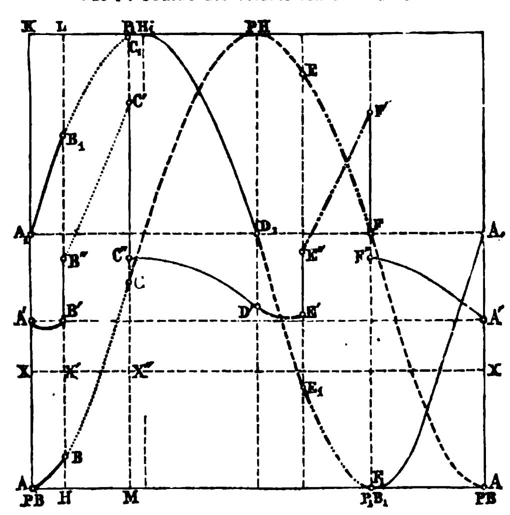
Au point mort bas du cylindre détendeur, en A, ce cylindre n'ajoute rien au volume de l'espace neutre; le cylindre admetteur dont l'évacuation du haut est ouverte, y ajoute A_1 K, dont il faut porter le quart de X en A'. — Au point B, le cylindre détendeur ajoute aux espaces neutres 3 B H et le cylindre admetteur B_1L. L'ordonnée X'B' vaut 1/4 de (3 B H + B_1 L). Sur cette même ordonnée, l'évacuation du haut cesse pour le cylindre admetteur et celle du bas commence. Il faut par suite porter sur cette ordonnée, une nouvelle valeur X'B" = 1/4 de (B_1 H + 3 B H). — Au point C, l'introduction du bas cesse pour le cylindre détendeur; l'ordonnée X"C' vaut 1/4 de (M C_1 + 3 M C). La vapeur renfermée dans le cylindre détendeur ne communiquant plus avec l'espace neutre, le volume M C doit être supprimé et l'ordonnée X" C" vaut 1/4 M C_1.

Les points suivants de la courbe sont donnés par la diminution du volume

du cylindre admetteur qui communique avec les espaces neutres, jusqu'à l'introduction du haut du cylindre détendeur. — Pour l'autre demi-révolution, la courbe est semblable. — Pour faciliter la lecture des trois courbes de la *fig.* 58, *vue* 1°, nous avons marqué avec des traits de même nature, les portions de ces courbes qui correspondent aux volumes en communication des deux cylindres.

Fig. 58, relative à l'analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à deux cylindres côte à côte points morts à 90°.

Vue 1°. Courbe des volumes en communication.



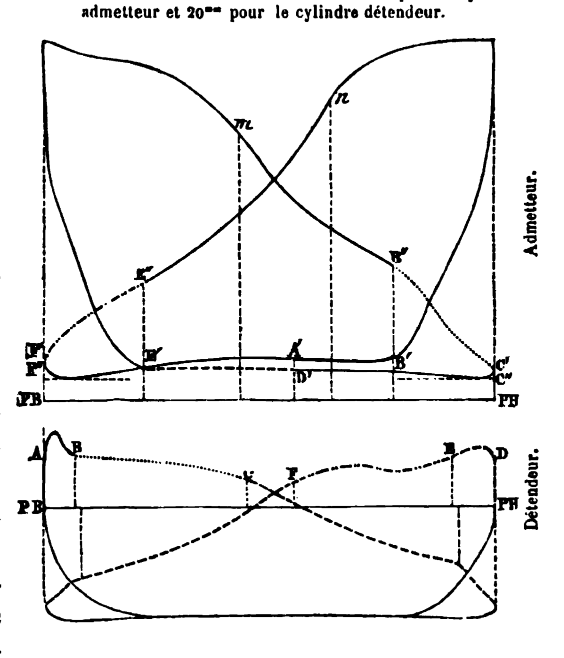
La portion A′ B′ de la courbe des volumes en communication, accuse une compression suivie d'une nouvelle détente, pendant les premiers instants de la course montante du piston du cylindre détendeur. — B′ B″ représente le volume de la nouvelle vapeur qui évacue le bas du cylindre admetteur. — La détente au Woolf se produit de B′ en C′, puis l'introduction du bas du cylindre détendeur cesse; un volume de vapeur représenté par C′ C″ est emprisonné dans ce cylindre et s'y détend, comme dans une machine ordinaire. La vapeur qui reste dans le volume représenté par M C″, est comprimée dans les espaces neutres et le cylindre admetteur; son volume diminue suivant C″ D′, jusqu'au point mort haut du cylindre détendeur. Pendant les premiers instants de la course descendante du piston de ce cylindre, la compression se continue; mais elle est bientôt suivie d'une nouvelle période d'expansion; c'est ce qu'indique la courbe D′ E′. — En ce dernier point, l'évacuation du bas du cylindre admetteur se ferme et celle du haut s'ouvre. — Pour la course descendante du piston du cylindre détendeur, les choses se passent de la même manière que pour la course montante.

Examinons maintenant les courbes d'indicateur *fig.* 58, *vue* 2°, qui ont été rapportées sur des lignes atmosphériques ayant pour longueur la course commune des pistons adoptée sur la *vue* 1°. — Les courbes du cylindre détendeur sont à une échelle double de celles du cylindre admetteur; nous ne les avons pas réduites afin de mieux conserver leurs formes. — Pour le cylindre admetteur, les portions de courbes en traits fins, avant l'évacuation, accusent l'introduction et la détente naturelles. Du côté de l'évacuation, le trait fin indique la période de compression

de la vapeur dans les espaces neutres, sans communication avec le cylindre détendeur. — Pour le cylindre détendeur, le trait fin correspond à la course d'évacuation. — Pendant la communication des deux cylindres, les portions de courbes correspondantes sont marquées avec des traits de même nature que sur la *vue* 1°. Les lettres employées pour les courbes du cylindre admetteur, sont celles qui désignent sur la *vue* 1°, la courbe des variations des volumes en communication entre les deux cylindres.

Fig. 58 (suite).

Vue 2°. Courbes d'indicateur. — Échelle = 10mm pour le cylindre admetteur et 20mm pour le cylindre détendeur.



Partons du point mort bas du piston du cylindre détendeur ; la partie A B de la courbe d'introduction de ce cylindre, correspond à la partie A′ B′ de la courbe d'évacuation du haut du cylindre admetteur. En B′, cette dernière évacuation se ferme et celle du bas s'ouvre ; l'introduction du bas du cylindre détendeur s'achève, de B en C, avec la vapeur qui évacue le bas du cylindre admetteur, et B″C′ est la portion de courbe de ce cylindre, qui correspond à BC du cylindre détendeur.

A partir du point C, la détente naturelle se produit dans le bas du cylindre détendeur. Le piston du cylindre admetteur comprime la vapeur dans les espaces neutres, et C″ D′ est la portion de courbe qui correspond à cette compression. — Lorsque le piston du cylindre admetteur est en D′, le piston du cylindre détendeur est en D et commence sa course descendante. Aux premiers instants, la vitesse de ce piston est très-faible et la compression de la vapeur se continue ; mais peu à peu la vitesse du piston du cylindre détendeur augmente ; la compression cesse ; la vapeur se détend de nouveau et sa pression

diminue. DE et D'E' sont les portions de courbes qui corresponden à la première partie de l'introduction du haut du cylindre détendeur.

Au point E', l'évacuation du bas du cylindre admetteur se ferme et celle du haut s'ouvre; EF et E''F' sont les deux portions de courbes qui correspondent à la deuxième partie de l'introduction du haut du cylindre détendeur.

Après le point F, la détente naturelle se produit dans le cylindre détendeur, tandis que la vapeur renfermée dans les espaces neutres est comprimée, de F'' en A', par la marche du piston du cylindre admetteur. Au point A', le piston du cylindre détendeur arrive au point mort bas.

Comparons les portions de courbes qui se correspondent, pour l'introduction du haut par exemple, du cylindre détendeur, — DE et D'E' accusent parfaitement la compression qui se continue pendant les premiers instants de la course, et la nouvelle expansion qui suit cette compression. — La courbe EF qui correspond à l'évacuation E''F' du haut du cylindre admetteur, accuse l'élévation de pression dans le cylindre détendeur, qui résulte de cette nouvelle évacuation. Cette élévation de pression ne s'est pas produite immédiatement; elle n'est d'ailleurs pas aussi considérable que l'indiquerait l'application de la loi de Bertholet, relative au mélange des gaz. Cela tient à ce que l'égalité de pression n'a pas le temps de s'établir, eu égard à la marche rapide du piston du cylindre détendeur. On peut vérifier, en effet, que sauf à l'origine des courses et pendant la petite période de compression qui suit, la pression dans le cylindre détendeur est toujours notablement plus faible que la contre-pression dans le cylindre admetteur.

On remarque que pour le cylindre admetteur, l'introduction naturelle est relativement faible, tandis que les avances à l'évacuation et les périodes de compression sont considérables. Le tiroir est conduit par un secteur et l'angle de calage est très-grand. Les valeurs considérables de l'avance à l'évacuation sont nécessaires pour diminuer, autant que possible, le retard à l'introduction dans le cylindre détendeur, de la vapeur qui sort du cylindre admetteur à chaque nouvelle évacuation de ce cylindre. On aurait pu annuler ce retard, en rapprochant les points morts du piston du cylindre détendeur de ceux du piston du cylindre admetteur, les manivelles étant calées à 80°, par exemple, au lieu d'être calées à 90°; mais l'appareil n'aurait

plus présenté les mêmes facilités pour la mise en marche, et la régulation de la marche arrière se serait trouvée très-défectueuse.

Pour le cylindre détendeur, les périodes de compression sont seules très-fortes ; leurs grandes valeurs sont motivées par la faible pression initiale dans ces cylindres, ce qui réduit l'action de l'avance à l'introduction.

N° 69_4 Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°. — Nous avons tracé sur la *fig.* 59, *vue* 1°, les courbes sinussoïdales des trois pistons des machines de la *Thétis*, dont les cylindres sont égaux; nous en avons déduit, comme il a déjà été indiqué au n° 69_2, la courbe des variations des volumes en communication. Les parties des courbes qui se correspondent sont accusées par des traits de même nature. L'échelle de construction est de 1/3, par rapport aux courses des pistons, à partir de la base X X qui représente le volume constant des espaces neutres, égal à environ un volume de cylindre.

Au point mort bas du cylindre admetteur, en A_1, le haut du cylindre arrière reçoit seul la vapeur, et il en est de même jusqu'au point mort haut du cylindre avant. La courbe de détente est AM. La vapeur se distribue ensuite entre les deux cylindres et la détente est accusée par MB. — L'introduction du cylindre arrière cesse en B_r; BB′ représente le volume de la vapeur renfermée dans ce cylindre. — Après cette fermeture, le cylindre avant introduit seul, jusqu'au point mort bas du cylindre arrière, en N_r. La courbe B′N accuse d'abord une compression produite par l'excès de vitesse du piston du cylindre admetteur sur celle du piston du cylindre détendeur avant, puis une nouvelle expansion que produit la différence en sens contraire des vitesses de ces mêmes pistons. Cette nouvelle expansion est augmentée, comme l'indique la courbe NC, par le commencement de l'introduction bas du cylindre détendeur arrière.

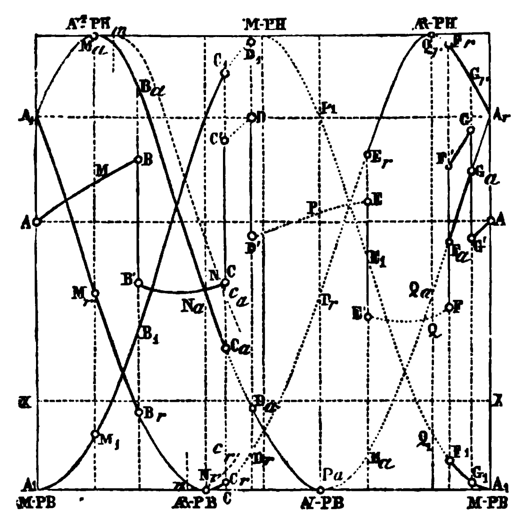
Au point C_1, l'évacuation bas du cylindre admetteur s'ouvre; les volumes en communication sont augmentés de tout le volume de la nouvelle vapeur qui évacue ce cylindre admetteur, et la courbe monte verticalement de C en C′. La détente se continue suivant C′D, jusqu'au moment où l'introduction haut du cylindre détendeur avant se ferme, en D_a. A ce point, la vapeur que renferme le cylindre avant est isolée des volumes en communication; comme à ce même moment, l'évacuation haut du cylindre admetteur se ferme, en D_1, le volume de compression dans ce cylindre est aussi isolé. Par le fait de la suppression des deux volumes dont il vient d'être question, la courbe descend verticalement de D en D′.

A partir du point D′, la détente se produit seulement dans le cylindre arrière, suivant D′P, jusqu'à l'ouverture de l'introduction bas du cylindre détendeur avant, en P_a; puis cette détente se produit dans les deux cylindres suivant PE.

— Au point E_r, l'introduction bas du cylindre détendeur arrière cesse ; le volume de vapeur que renferme ce cylindre est séparé des volumes en communication, et la courbe descend verticalement de E en E′. A partir de ce moment, le cylindre avant reçoit encore seul la vapeur qui évacue le cylindre admetteur, et il y a compression de cette vapeur entre les pistons des deux cylindres ; la courbe E′Q accuse ces variations de volume. — La détente se continue ensuite suivant QF, avec l'introduction dans les deux cylindres détendeurs.

Fig. 59, relative à l'analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°.

Vue 1°. Courbes des volumes en communication.



Au point F_1, l'évacuation haut du cylindre admetteur s'ouvre ; le volume de la vapeur que renferme ce cylindre s'ajoute aux volumes en communication, et la courbe s'élève verticalement de F en F′. — La détente se produit suivant F′G par l'introduction simultanée dans les deux cylindres détendeurs ; puis, en G_a, l'introduction bas du cylindre avant se ferme, et le volume de vapeur que renferme ce cylindre est isolé des volumes en communication. A ce même moment, l'évacuation bas du cylindre admetteur se ferme, en G_1, et le volume de compression dans ce cylindre est isolé. Somme toute, la courbe descend verticalement suivant GG′. — A partir du point G′, le cylindre arrière reçoit seul la vapeur, jusqu'à l'introduction suivante du cylindre avant, et la détente se produit suivant G′A, pour se continuer ensuite, suivant AB, par l'introduction dans les deux cylindres.

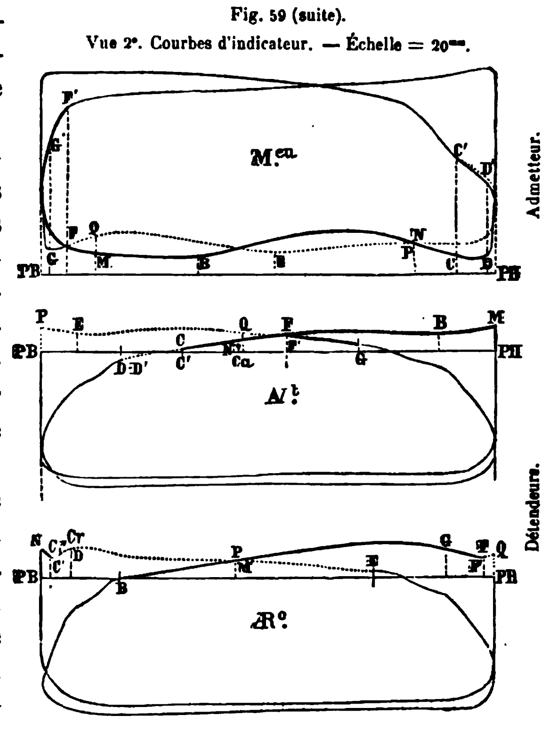
Examinons maintenant les courbes d'indicateur, *fig.* 59, *vue* 2°, dont les lignes atmosphériques sont prises égales aux courses des pistons de la *vue* 1°. Portons sur ces courbes, à l'aide de cette dernière figure ; les points qui correspondent aux variations brusques des volumes en communication. — L'introduction bas du cylindre détendeur avant, se fait de P en F avec l'évacuation bas du cylindre admetteur, et s'achève de F′ en G, avec l'évacuation haut de ce cylindre. — L'introduction haut du cylindre détendeur avant se fait, de M en C, avec l'évacuation haut du cylindre admetteur, et se termine de C′ en

D, avec l'évacuation bas de ce cylindre. — L'introduction bas du cylindre détendeur arrière commence, de N en C avec l'évacuation haut du cylindre admetteur, et se termine ensuite, de C′ en E, avec l'évacuation bas de ce cylindre. — Enfin, l'introduction haut du cylindre détendeur arrière commence, de Q en F, avec l'évacuation bas du cylindre admetteur, et se fait ensuite, de F′ en B, avec l'évacuation haut de ce cylindre.

Nous n'avons pas tenu compte des deux petites fractions de la course du piston du cylindre admetteur, pendant lesquelles les deux évacuations de ce cylindre sont ouvertes.

Fig. 59 (suite).

Vue 2°. Courbes d'indicateur. — Échelle = 20mm.



Comparons les courbes d'introduction des cylindres détendeurs avec les courbes d'évacuation correspondantes du cylindre admetteur. — Le cylindre arrière, dans le bas par exemple, commence son introduction, de N en C, avec la fin de l'évacuation haut du cylindre admetteur; la courbe des volumes en communication accuse une détente, et les deux portions NC des courbes d'indicateur présentent une diminution de pression. — Au point C′ commence l'évacuation bas du cylindre admetteur, et la vapeur de ce cylindre a une pression mesurée par l'ordonnée du point C′. Bien que la courbe des volumes en communication accuse une détente, de C′ en D, la pression augmente d'abord dans le cylindre arrière, à cause de la nouvelle vapeur évacuée par le cylindre milieu; mais la pression baisse rapidement dans ce dernier cylindre. — Pareille chose a lieu du côté de l'introduction haut du cylindre arrière.

Pour le cylindre avant, prenons aussi le bas par exemple; l'introduction commence pendant que les volumes en communication augmentent, et la détente se produit; de P en E la pression diminue. Au point E, l'introduction bas du cylindre arrière cesse, et la vapeur est comprimée dans les espaces neutres, le bas du cylindre avant et le bas du cylindre milieu. Cette compression est très-marquée de E en Q dans ce dernier cylindre; mais elle l'est beaucoup moins dans le cylindre avant, bien qu'elle soit sensible. Les différences de pressions qui en résultent pour la vapeur, proviennent de ce que ce fluide, d'abord comprimé dans le cylindre milieu, est obligé de suivre la marche du piston du cylindre avant; il y a refoulement du premier cylindre dans le second. — Au point F, il y a déjà eu réaugmentation des volumes en communication, et par suite diminution de la pression de la vapeur. En ce même point, l'évacuation haut du cylindre milieu s'ouvre; la vapeur, dont la pression est mesurée par l'ordonnée du point F′, se précipite dans les espaces neutres et il en pénètre une certaine quantité dans le cylindre avant, puisque l'introduction de ce cylindre se continue encore de F′ en G. Toute cette vapeur introduite *après coup*, est mal utilisée, heureusenment qu'en raison de sa marche rapide, le tiroir n'en laisse passer qu'une très-faible quantité. — Ce que nous venons d'expliquer pour le bas se répète pour le haut du cylindre détendeur arrière.

Calage des manivelles à 120°. — A l'origine, les manivelles des machines à trois cylindres étaient calées à 120° et se partageaient le cercle. Voici quel était le résultat de ce calage au point de vue de la distribution de la vapeur dans les cylindres détendeurs. — Pour le cylindre arrière, par exemple, le point mort bas du piston était en *n*, *fig.* 59, *vue* 1°, et le chemin parcouru par ce piston au moment où commence la nouvelle évacuation bas du cylindre admetteur, était Cc_r, quantité plus que double de CC_r, ou de NC, *fig.* 59, *vue* 2°. La perte due au retard à l'introduction qui se produisait ainsi était très-sensible, tandis qu'elle est insignifiante avec le calage actuel des manivelles. — Il en était de même pour le cylindre avant; ainsi, le point mort haut de ce cylindre était en *m*, *fig.* 59, *vue* 1°, et ce piston arrivait en c_a sur sa course, au moment où s'ouvrait la nouvelle évacuation bas du cylindre admetteur. Or c_aD, *fig.* 59, *vue* 2°, est plus que double de C′D; par suite, la nouvelle vapeur évacuée avait largement le temps de s'introduire dans le cylindre avant, et il en résultait une perte considérable. Au point de vue de l'utilisation de la vapeur, le calage

à 90° pour les manivelles des cylindres détendeurs est préférable au **calage** à 120° ; mais le mouvement de rotation est moins régulier.

CHAP. V, § 2. — RÉGULATION DES MACHINES.

N° 70. — 1. Détermination des éléments de la régulation d'un tiroir par l'épure naturelle. — 2. Courbes de régulation des machines Woolf, à cylindres bout à bout ou côte à côte points morts communs. — 3. Courbes de régulation des machines Woolf, à cylindres côte à côte points morts à 90°. — 4. Courbes de régulation des machines Woolf, à trois cylindres égaux côte à côte points morts à 90° et 135°. — 5. Courbes de régulation pour les détentes Meyer.

N° 70_1 Détermination des éléments de la régulation d'un tiroir par l'épure naturelle. — L'établissement de la régulation d'une machine par l'emploi successif de l'épure circulaire (n° 211_3 du *G^d Traité*) et de l'épure sinussoïdale (n° 213_3 du *G^d Traité*), est une opération très-longue et souvent défectueuse. D'autre part, cette opération ne donne que les résultats propres au système de machine et de tiroir que l'on considère ; la question est ainsi traitée à un point de vue tout à fait restreint. L'épure naturelle de régulation (n° 210_4 du *G^d Traité*), qui est employée par les constructeurs de l'industrie, principalement en Angleterre, permet de résoudre d'une manière plus immédiate la question qui nous occupe. Cette épure a surtout l'avantage, en tenant compte de l'obliquité des bielles et du système de transmission de mouvement, direct ou renversé, des pistons et des tiroirs, d'indiquer quelles sont les meilleures combinaisons à adopter pour établir une bonne régulation.

Avant d'aborder cette question importante, nous allons reprendre l'épure circulaire au point de vue particulier qui conduit à l'épure naturelle.

Prenons une machine dont tous les éléments de la régulation soient connus, le tiroir étant en coquille. — Soit OA, *fig.* 14, *pl.* IX, la manivelle du piston au point mort bas ; portons OB égal au recouvrement à l'introduction du bas, et BC égal à l'ouverture de l'orifice quand le piston est au point mort. Menons CD perpendiculaire à OA, et joignons OD. L'angle AOD est l'angle de calage du tiroir en coquille, et OD est la position de la manivelle du tiroir pour la position de la manivelle du piston au point mort. Fig. 14, Pl. IX.

Menons le diamètre XY perpendiculaire au diamètre AK des points morts. Prenons arc XD' = arc XD et joignons OD'. Le diamètre D'D'' sera la direction de la course du tiroir lorsque sa manivelle OD sera ramenée sur celle du piston, en OA ; il résulte en effet de notre construction, que angle AOD' = angle DOK ;

par suite, la manivelle du tiroir prise en OA, arrivera au point mort en D″, en même temps que le rayon OD de la position primitive de cette manivelle arrivera au point mort en OK. — L'angle D′OK des deux courses est égal à l'angle de calage.

Menons AC′ perpendiculaire à D′D″; on a évidemment OC′ = OC. Donc si nous décrivons la circonférence qui passe par le point B et qui coupe OD′ en B′, la longueur B′C′ sera égale à BC, et mesurera, comme cette dernière, l'ouverture de l'orifice d'introduction du bas quand le piston est au point mort. Par suite, si nous menons B′*a* perpendiculaire à la direction D′D″ de la course du tiroir, le point *a* sera, sur la circonférence, la position commune des boutons des deux manivelles au moment où l'orifice du bas commence à s'ouvrir, et O*a* sera la position des manivelles. — L'angle *a*OA est l'avance angulaire à l'introduction; et si nous menons *aa′* perpendiculaire sur AK, le rapport $\frac{aa'}{AK}$ mesure l'avance à l'introduction du bas en fraction de la course du piston.

La ligne *a*B′ prolongée, coupe la circonférence au point F, et la manivelle du piston sera en OF, comme celle du tiroir, au moment de la fermeture de l'introduction du bas. La durée de l'introduction en fraction de la course est $\frac{Af}{AK}$, et la détente vaut $\frac{fK}{AK}$.

Nous pouvons faire un raisonnement semblable à celui qui précède, pour toutes les autres fonctions que remplit le tiroir, et tracer les orifices comme ils sont indiqués sur la figure. Nous aurons ainsi, en résumé :

DÉSIGNATION		VALEUR angulaire.	OUVERTURE de l'orifice.	SUR LA COURSE du piston.
Avance à l'introduction.	bas	*a*A	B′C′	A*a′*
	haut	*k*K	E*e*	*k′*K
Durée de l'introduction.	bas	»	»	A*f*
	haut	»	»	K*g*
Avance à l'évacuation.	bas	MK	N*e*	*m*K
	haut	LA	PC′	*l*A
Compression.	bas	RA	»	A*r*
	haut	SK	»	*s*K
Angle de calage			D′OK = D″OA	

Et de plus :

Recouvrements.	à l'introduction	bas	+ OB′
		haut	+ OE
	à l'évacuation	bas	— ON
		haut	— OP
Ouverture maximum des orifices.	à l'introduction	bas	B′D′
		haut	ED″
	à l'évacuation	bas	ND″
		haut	PD′

Renversons maintenant le problème, et proposons-nous de trouver les éléments d'un tiroir devant procurer des avances et des introductions données, savoir :

Avance à l'introduction, bas et haut . . . . = 0,01
Avance à l'évacuation, bas et haut . . . . = 0,10
Durée de l'introduction, bas et haut . . . . = 0,75

Prenons Af, *fig.* 14, *pl.* IX, égale à 0,75 de AK, et menons fF perpendiculaire au diamètre des points morts. D'autre part, prenons $Aa' = 0,01$ de AK, menons $a'a$ perpendiculaire à AK, et joignons aF. Enfin, menons du centre O, le diamètre D'D" perpendiculaire à Fa. L'angle D'OK sera l'angle de calage. — Une construction semblable faite sur le point mort haut, nous donnerait le même diamètre D'D" perpendiculaire à kG, et l'angle D"OA égal à l'angle D'OK pour angle de calage. — On en déduira que le recouvrement à l'introduction du bas est OB', et que le recouvrement à l'introduction du haut est OE.

Pour l'évacuation, prenons $Al = mK = 0,1$ de AK, et menons MR et LS perpendiculaires à D'D" ; nous en déduirons les recouvrements à l'évacuation qui sont : ON pour le bas, et OP pour le haut. Ces deux recouvrements sont négatifs, parce que les points P et N sont avant la demi-course du tiroir.

Pour construire l'épure naturelle, il suffit d'appliquer la construction précédente en tenant compte de la longueur des bielles. Nous reconnaîtrons dans cette construction que, quel que soit le genre de transmission de mouvement du piston à l'arbre de couche, la durée de l'introduction est toujours plus grande pour la course qui commence au point mort pour lequel la bielle et la manivelle sont en ligne droite et dans le prolongement l'une de l'autre. Nous désignerons par le mot *majeur* ou par la lettre M en indice, ce point mort et la course qui lui correspond ; et par le mot *mineur* ou par la lettre m en indice, l'autre point mort et la course qui lui correspond.

D'autre part, on sait que dans nos machines, le mouvement de rotation de l'arbre de couche peut être considéré comme uniforme. Avec cette hypothèse, l'obliquité des bielles conduit à faire les remarques suivantes :

1° Pour des arcs égaux à décrire par la manivelle avant les points morts, les chemins correspondants faits par les pistons sont inégaux ; et le chemin qu'il doit faire pour atteindre le point mort *majeur* est plus grand que celui qu'il doit faire pour atteindre le point mort *mineur*.

2° La vitesse du piston est plus grande en abordant le point mort *majeur* qu'en abordant le point mort *mineur*.

3° L'avance à l'introduction et la compression au bout *majeur*, doivent être plus grandes que l'avance à l'introduction et la compression au bout *mineur*.

4° L'avance à l'évacuation du bout *mineur* (qui a lieu quand le piston approche du point mort *majeur*), doit être plus grande que l'avance à l'évacuation du bout *majeur*.

Cela dit, soit à déterminer les éléments d'un tiroir, avec les données suivantes :

Avance à l'introduction.	*bas*	=	0,012 de la course.
	haut	=	0,008 —
Durée moyenne de l'introduction		=	0,65 de la course
Avance à l'évacuation.	*bas*	=	0,08 —
	haut	=	0,12 —
Rapport de la bielle du piston à sa manivelle		=	3 *
Rapport de la bielle d'excentrique à son rayon		=	6 *

Fig. 15. Pl. IX

Soit P_M P_m, *fig.* 15, *pl.* IX, la course du piston, représentée par le diamètre de la circonférence que décrit le bouton de sa manivelle. Prenons une longueur égale à trois fois OP_M, qui sera celle de la grande bielle, et déterminons les points P'_M, P'_m, qui correspondent aux fins de course de cet organe.

Cela fait, prenons $P'_M A' = 0{,}012$ de $P'_M P'_m$; $P'_m D' = 0{,}008$ de $P'_M P'_m$; et enfin $P'_M C' = P'_m K' = 0{,}65$ de $P'_M P'_m$.

Des points A',D',C' et K' comme centres et avec la grande bielle du piston pour rayon, décrivons des arcs de cercle qui coupent la circonférence aux points A, D, C, K. — Si les introductions pouvaient être égales pour les deux courses, l'introduction du bout *majeur* devrait commencer en A et finir en C ; et l'introduction du bout *mineur* devrait commencer en D et finir en K. D'après la construction expliquée avec l'épure circulaire, la course du tiroir devrait se faire suivant EE' perpendiculaire à AC, pour la course *majeure*, et suivant NN' perpendiculaire à DK pour la course *mineure*. C'est-à-dire que pour obtenir l'égalité d'introduction pour les deux courses, il faudrait que l'angle de calage eut deux valeurs: l'une EOP_m pour la course majeure et l'autre NOP_m pour la course mineure. Comme cela est impossible à obtenir, nous allons chercher quel est la valeur qu'il convient d'adopter pour l'angle de calage.

Disons d'abord qu'il n'y a pas lieu de chercher à renfermer dans des limites très-étroites, la différence des introductions pour les deux courses. Cette différence n'est d'ailleurs pas défavorable au bon fonctionnement de la machine. En effet, puisque l'inertie des pièces animées du mouvement de rotation rend le mouvement de l'arbre à peu près uniforme, et que par suite de l'obliquité de la grande bielle, le piston va plus vite en terminant sa course *mineure* qu'en terminant sa course *majeure*, il est bon que la pression de la vapeur se maintienne moins forte pendant la fin de la première course que pendant la fin de la seconde. Néanmoins, la différence des deux introductions ne doit pas aller au-delà de 0,15, même avec une faible introduction moyenne, et on peut la réduire, dans certains cas, comme pour les machines à pilon par exemple, à 0,06, quand l'introduction moyenne est assez forte.

Cela dit, si nous adoptons EE' pour direction de la course du tiroir, l'introduction du bout *majeur* vaudra bien 0,65 de la course, mais l'introduction du bout *mineur* sera considérablement réduite; elle ne vaudra plus que $P_m x'$, correspondant à 0,486 de la course, et la moyenne des deux introductions sera seulement de 0,568 plus faible que la valeur assignée; enfin, la différence entre les

* Nous avons pris à dessein des bielles courtes, afin de mieux faire ressortir leur influence sur les éléments de la régulation.

deux introductions vaudra 0,164. — Si nous adoptons NN′ pour direction de la course du tiroir, l'introduction du bout *mineur* restera égale à 0,65, mais l'introduction du bout *majeur* atteindra $P_M y'$, correspondant à 0,784 de la course. Cette fois, la valeur moyenne des deux introductions vaut 0,717; elle est plus grande que la valeur assignée, et la différence entre les deux introductions est de 0,134. — Par suite, ni l'une ni l'autre des directions EE′, NN′, ne conviennent pour la course du tiroir. L'angle de calage est trop grand dans le premier cas, et trop petit dans le second. On lève la difficulté en prenant pour direction de la course du tiroir, la ligne SP, bissectrice de l'angle NOE; l'angle de calage aura alors pour valeur SOP_m.

Convenons maintenant du mode de transminssion de mouvement du piston et du tiroir, et du genre de ce dernier :

1° *Machine à bielle directe, avec un tiroir en coquille également à bielle directe.*

Le point mort bas du piston est en P_M, et le point mort haut en P_m. — Le tiroir monte pour démasquer l'orifice d'introduction du bas, et le point S est son point mort *haut* (nous supposons que la circonférence de la figure représente aussi celle qui décrit le bouton de la manivelle du tiroir). D'après cela, quand les deux manivelles sont en OA, le pied de bielle du tiroir est en a_1, la longueur Aa_1, étant égale à 6 fois OA, d'après nos données.

Déterminons avec le même rayon Aa_1, le point d_1, où se trouve le pied de bielle du tiroir lorsque les manivelles sont en D, point qui correspond à l'avance à l'introduction du haut. — Puis, des points a_1 et d_1 comme centres, et toujours avec Aa_1 pour rayon, décrivons les arcs de cercle A*a* et D*d*. — L'ouverture de l'orifice de l'introduction du bas aura lieu au point A, et la fermeture au point *a*; l'ouverture de l'orifice d'introduction du haut aura lieu au point D, et la fermeture au point *d*. — Cherchons les positions *a′* et *d′* du pied de la grande bielle qui correspondent aux points *a* et *d* de la circonférence, nous aurons :

$P'_M a'$ *pour durée de l'introduction du bas.*
$P'_m d'$ *pour durée de l'introduction du haut.*

Nous mesurerons tout à l'heure la valeur de ces introductions.

Les arcs de cercle A*a* et D*d*, coupent le diamètre SP des points morts du tiroir, aux points *m* et *q*, et nous en déduisons :

O*m* *pour recouvrement à l'introduction du bas.*
O*q* *pour recouvrement à l'introduction du haut.*
*m*S *pour ouverture maximum à l'introduction du bas.*
*q*P *pour ouverture maximum à l'introduction du haut.*

Passons aux orifices d'évacuation. Prenons sur la course $P'_M P'_m$ du pied de bielle du piston, les longueurs $P'_M G' = 012$ de $P'_m P'_M$ et $P'_m B' = 0,08$ de $P'_M P'_m$, valeurs données pour les avances à l'évacuation. Avec la grande bielle pour rayon, déterminons les points G et B de la circonférence qui correspondent aux points G′ et B′; puis avec la bielle du tiroir pour rayon, déterminons les points g_1 et b_1 qui correspondent aux points G et B. Retournons le compas, et des points g_1 et b_1 comme centres, décrivons les arcs G*g* et B*b*,

qui coupent le diamètre SP aux points p et n. L'évacuation du bas commencera en B et se finira en b; l'évacuation du haut commencera en G et se finira en g. Nous aurons de plus :

$-On$ *pour recouvrement à l'évacuation du bas.*
$+Op$ *pour recouvrement à l'évacuation du haut.*
nP *pour ouverture maximum à l'évacuation du bas.*
pS *pour ouverture maximum à l'évacuation du haut.*

D'autre part, déterminons avec la grande bielle pour rayon, les points b' et g' de la course du pied de bielle qui correspondent aux points b et g de la circonférence, et nous aurons :

$b'P'_M$ *pour la compression du bas.*
$g'P_m$ *pour la compression du haut.*

2° *Machine à bielle directe et tiroir en D à bielle en retour.*

Le tiroir en D descendant pour ouvrir à l'introduction du bas, son point mort bas est en S, et comme la bielle est en retour, la course du pied de bielle se fait sur la droite de la figure, et se confond avec la course du pied de bielle du tiroir en coquille à bielle directe. Par suite, avec les mêmes données, nous obtiendrons absolument la même régulation avec les deux tiroirs. Les points morts des distributeurs seront seulement de noms contraires.

3° et 4° *Machine à bielle directe et tiroir en coquille à bielle en retour, ou tiroir en D à bielle directe.*

Dans ces deux cas, la course du pied de bielle du tiroir est sur la gauche de la figure, chaque tiroir conservant d'ailleurs les noms de ses points morts. — En effectuant les constructions que nous avons indiquées pour le premier cas, nous arrivons aux mêmes valeurs pour les *introductions*, les *avances* et les *compressions*; mais les recouvrements et les ouvertures maximum des orifices n'ont plus les mêmes valeurs. — On trouve ainsi :

Om' *pour recouvrement à l'introduction du bas.*
Oq' *pour recouvrement à l'introduction du haut.*
$m'S$ *pour ouverture maximum à l'introduction du bas.*
$q'P$ *pour ouverture maximum à l'introduction du haut.*
$+On'$ *pour recouvrement à l'évacuation du bas.*
$+Op'$ *pour recouvrement à l'évacuation du haut.*
$n'P'$ *pour ouverture maximum à l'évacuation du bas.*
$p'S'$ *pour ouverture maximum à l'évacuation du haut.*

5° et 6° *Machine à bielle en retour et tiroir en coquille à bielle directe, ou tiroir en D à bielle en retour.*

Si la machine est à bielle en retour, P_M est le point mort haut, et P_m le point mort bas; mais cela ne change pas les valeurs relatives de nos avances. Le tiroir étant en coquille à bielle directe, il faut que la course du pied de bielle de cet organe soit sur la gauche de la figure, le point S étant son point mort bas. Il en sera de même pour le tiroir en D à bielle en retour, nous trouverons pour ces deux cas, les recouvrements affectés du *prime*.

7° et 8° ***Machine à bielle en retour et tiroir en coquille à bielle en retour, ou tiroir en D à bielle directe.***

Dans le premier cas, le point S est le point mort bas du tiroir, ce dernier étant en coquille, et le pied de bielle de cet organe est à droite de la figure, puisque la bielle est en retour. Dans le second cas, le tiroir étant en D, le point S est le point mort haut; et la bielle étant directe, la course de ce pied de bielle est encore à droite de la figure. — Dans les deux cas, les recouvrements sont désignés par les lettres non affectées du *prime*.

Résumé. — En résumé, nous venons de trouver les éléments d'un tiroir pour les 8 cas qui peuvent se présenter, abstraction faite des machines oscillantes. Ces 8 cas ne donnent que deux séries de valeurs pour les éléments du tiroir, et en formant un groupe de tous les cas où ces éléments sont rigoureusement les mêmes, on a :

1er groupe.	machine à bielle directe	tiroir en coquille à bielle directe. tiroir en D à bielle en retour.
	machine à bielle en retour	tiroir en coquille à bielle en retour. tiroir en D à bielle directe.
2e groupe.	machine à bielle directe	tiroir en coquille à bielle en retour. tiroir en D à bielle directe.
	machine à bielle en retour	tiroir en coquille à bielle directe. tiroir en D à bielle en retour.

Il importe de remarquer que toutes les machines à pilon actuelles rentrent dans le premier groupe, ces machines étant à bielle directe et leurs tiroirs étant en coquille, également à bielle directe. Il en est de même des machines à bielle en retour: 1° du type d'Indret avec tiroir en D, (*sect.* 1, *pl.* III, et *sect.* 1 et 2, *pl.* IV); 2° du type du Creusot (*sect.* 2, *pl.* III). — Le second groupe renferme les machines à bielle en retour: 1° du type Mazeline, (*sect.* 2 et 3, *pl.* I); 2° du type Dupuy de Lôme, construites par les forges et chantiers de la Méditerranée (*sect.* 3, *pl.* III).

Les seules différences de régulation portant sur les recouvrements, et par suite sur les ouvertures maximum des orifices, nous allons examiner à ce point de vue, quels sont le genre de tiroir et celui de sa transmission de mouvement qui doivent donner les meilleurs résultats.

Relevons en grandeur absolue sur la circonférence *fig.* 15, *pl.* IX, les ouvertures maximum des orifices, nous trouvons:

		POUR LES MACHINES DU 1er Groupe.	POUR LES MACHINES DU 2e Groupe.
		millimètres	millimètres
Ouverture maximum à l'introduction . .	course majeure	6,36	8,16
	course mineure	8,28	6,48
	moyenne.	7,32	7,32
Ouverture maximum à l'évacuation. . .	côté majeur	15,45	13,050
	côté mineur	12,12	14,520
	moyenne.	13,785	13,785

Les ouvertures maximum moyennes ont même valeur dans les deux groupes; il n'y a par suite à discuter que sur les valeurs comparatives de chaque course.

Rappelons que l'introduction est toujours plus grande pour la course *majeure* que pour la course *mineure*. D'autre part, non-seulement le piston atteint plus vite sa vitesse maximum pendant la première course que pendant la seconde, mais encore sa vitesse moyenne est plus grande pendant l'introduction de la course majeure que pendant l'introduction de la course mineure. Il suffit pour s'en convaincre, de considérer que les arcs A*a* et D*d* qui diffèrent très-peu, et qui seraient rigoureusement égaux si les avances angulaires à l'introduction étaient elles-mêmes égales, correspondent à des fractions de courses inégales, la plus grande appartenant à la course *majeure*.

Au point de vue qui nous occupe, il est avantageux que l'ouverture maximum à l'introduction soit plus grande quand le piston a une plus grande vitesse, et par suite corresponde à la course *majeure* de ce piston. La régulation du deuxième groupe est donc préférable.

En considérant les ouvertures à l'évacuation, il faut tenir compte, 1° de la vitesse plus grande que possède le piston avant et après le point mort *majeur* qu'avant et après le point mort *mineur*; 2° de ce que le mouvement de rotation n'étant pas rigoureusement uniforme, l'influence de l'obliquité de la bielle se fait sentir sur le couple de rotation, dont la valeur moyenne est plus forte aux environs du point mort *majeur* qu'aux environs du point mort *mineur* *. Cela tient à ce que les deux points, l'un de vitesse maximum et l'autre de vitesse minimum, qui comprennent entre eux les points morts (n° 48_3 du *Gd Traité*), sont plus rapprochés pour le premier point mort que pour le second; et enfin, 3° de ce que la quantité de vapeur à faire évacuer est plus grande du côte majeur que du côté mineur.

Les *deux premières* considérations conduiraient à faire plus grande l'ouverture de l'évacuation du bout *mineur*, tandis que la *troisième* conduirait à faire plus grande l'ouverture de l'évacuation du bout majeur. En pratique, il faut tenir compte de la valeur des deux premières considérations sans sacrifier absolument la troisième, et la régulation du deuxième groupe est encore celle qu'il faut adopter, car la régulation du premier groupe ne donnerait satisfaction qu'à la *troisième* considération ci-dessus, en sacrifiant absolument les deux premières. — Avec la régulation du deuxième groupe, l'ouverture maximum à l'évacuation du bout majeur est la plus faible; mais la différence des deux ouvertures maximum est en nombre rond de 0,1 de la plus grande, quantité relativement peu importante. En effet, l'évacuation est non-seulement une question d'ouverture des orifices, mais encore une question de temps et une question d'ouverture aux premiers instants de l'évacuation; car on sait en effet, que la plus grande partie de la vapeur du cylindre doit s'être évacuée quand le piston passe au point mort. Or avec la régulation du deuxième groupe, les

---

* La plus grande vitesse de l'arbre au point mort majeur est surtout sensible avec les bielles courtes, et notamment dans les machines oscillantes où la bielle est très-courte au point mort *majeur*, et augmente de toute la course pour le point mort *mineur*.

ouvertures à l'évacuation sont sensiblement les mêmes quand le piston achève sa course; donc si l'on suppose que le mouvement de l'arbre est uniforme, l'orifice d'évacuation du bout majeur s'ouvrant plus tôt que l'orifice du bout mineur, puisque BP_m est plus grand que GP_M, l'évacuation du bout majeur est facilitée. Mais nous avons dit que la manivelle du piston passait plus rapidement au point mort majeur qu'au point mort mineur; par suite, l'évacuation du bout majeur aura plus de temps pour s'effectuer avant le renversement de marche du piston. Finalement, la *troisième* considération ci-dessus n'est pas sacrifiée, et la régulation du deuxième groupe qui donne seule satisfaction au deux *premières*, est celle qu'il convient d'adopter.

Éléments de la régulation donnés par l'épure naturelle. Pour compléter cette étude et montrer le parti que l'on peut tirer de l'épure naturelle, relevons les éléments de la régulation et les résultats obtenus sur la *fig.* 15, *pl.* IX. Nous trouvons d'abord :

Durée de l'introduction.	*côté majeur*	0,725
	côté mineur.	0,576
	moyenne	0,6505

La moyenne est bien celle que nous cherchions; mais la différence 0,149 qui existe entre les deux introductions, est un peu grande. La valeur de cette différence tient surtout à la petitesse de longueur de bielle (= 3 fois la manivelle) que nous avons choisie pour l'épure; elle serait beaucoup plus faible avec une bielle plus longue, et deviendrait même nulle avec une bielle infinie. Cette différence s'accentue de plus en plus à mesure que la valeur moyenne des introductions diminue; elle s'affaiblit, au contraire, à mesure que la valeur moyenne des introductions augmente. Dans tous les cas, comme nous l'avons dit ci-dessus, les valeurs relatives des introductions s'accommodent bien avec l'influence de l'obliquité de la bielle sur le couple de rotation, influence qui est d'autant plus grande que la bielle est plus courte.

Pour les machines à pilon, il est avantageux, eu égard à l'influence du poids du piston et de son attelage, de réduire le plus possible la différence des deux introductions. On obtient ce résultat en diminuant l'avance à l'introduction du bout *majeur*, et en augmentant au contraire, celle du bout *mineur*. Cette modification des avances est d'ailleurs rationnelle, en raison de l'influence des poids.

Pour les périodes de compression, nous relevons sur l'épure *fig.* 15, *pl.* IX :

Périodes de compression.	*côté majeur*	0,185
	côté mineur.	0,125
	moyenne	0,155

Ces deux valeurs de la compression sont dans un bon rapport; seulement, leur moyenne est un peu forte. On pourrait la diminuer en augmentant les avances à l'évacuation, ce qui conduirait à une diminution des recouvrements à l'évacuation, sans que l'on soit obligé de toucher à l'angle de calage. Les courbes d'indicateur relevées sur la machine en fonction indiqueront sûrement si cette modification est ou non utile.

Pour les machines à pilon, on pourrait, comme pour les avances à l'introduction, diminuer la compression du côté *majeur* et augmenter celle du côté *mineur*, en augmentant l'avance à l'évacuation pour le premier bout du cylindre et en diminuant celle du second. Cette opération ne conduit encore qu'à une simple modification du recouvrement à l'évacuation.

Enfin, l'angle de calage relevé sur l'épure vaut 132°,5. Cet angle est peut-être un peu grand ; mais il n'a rien d'exagéré, eu égard aux régulations actuelles, la durée moyenne de l'introduction étant seulement de 0,65.

Il reste maintenant à déterminer les dimensions du tiroir et des orifices du cylindre. — Le rapport (α) du TABLEAU A de l'*Atlas*, donne le moyen de fixer. par voie de comparaison, la section totale de chaque orifice du cylindre, eu égard au volume moyennement engendré par le piston dans une seconde. Les dimensions connues du cylindre permettent de fixer la longueur (la plus grande possible) que l'on peut donner aux orifices, et d'en déduire par suite, leur hauteur h. Cette dernière quantité connue, les rapports (ν) du TABLEAU A (*suite*), donnent le moyen de proportionner les ouvertures maximum des orifices en fonction de la hauteur h. On peut opérer sur l'introduction ou sur l'évacuation; prenons par exemple :

Ouverture maximum moyenne à l'évacuation . . . . $= 1,4\,h.$

Cette ouverture maximum moyenne a, d'après l'épure, une valeur absolue de $13^{mm},785$. On en déduit $h = \dfrac{13,785}{1,4} = 9^{mm},84$, quantité qui doit représenter la hauteur de l'orifice sur l'épure. Cette dimension donne, d'après les résultats recueillis plus haut :

$$\textit{Ouverture maximum moyenne à l'introduction} = \frac{72,32}{9,84}\,h = 0,744\,h.$$

Ce rapport est parfaitement acceptable d'après les résultats fournis par les rapports (ν) du TABLEAU A (*suite*).

Finalement, l'échelle de la figure; au point de vue du tiroir et des orifices du cylindre, est égale à $\dfrac{9,84}{h}$

C'est à l'aide de la dimension $9^{mm},84$ qui représente sur l'épure la hauteur des orifices, que ces derniers ont été tracés, à droite et à gauche de la figure. Ces orifices sont d'ailleurs disposés, le long de la course du pied de bielle du tiroir, comme dans une épure de régulation.

Il ne reste plus qu'à relever sur l'épure, et à l'échelle indiquée ci-dessus, les valeurs des recouvrements, pour être en mesure de construire le tiroir. — Les recouvrements à l'introduction, pas plus que les recouvrements à l'évacuation, ne sont égaux entre eux ; il y a même, sur notre épure, une différence sensible entre leurs valeurs. Cela tient à l'obliquité de la bielle du tiroir, mais non pas à celle du piston, et de plus à ce que les avances ne sont pas égales pour les deux points morts.

Pour le cas d'une machine oscillante, la construction de l'épure naturelle se ferait comme il est expliqué ci-dessus, en tenant compte :

1° De ce que la longueur de la bielle du piston, qui est variable, a pour valeur,

en chaque point de la rotation, la distance de l'axe du tourillon d'oscillation du cylindre au centre du bouton de la manivelle.

2° De ce que le tiroir, qui est toujours en coquille, est conduit comme par une bielle renversée, à cause du levier de transmission de mouvement que nécessite l'emploi de l'arc de Penn.

On trouvera dans la *Note* qui précède les tableaux de l'*Atlas*, une régulation complète étudiée par la méthode que nous venons d'exposer. Cet exemple suffit pour montrer tout le parti que l'on peut tirer de cette méthode, aussi simple que pratique. Il va de soi que l'épure doit être construite à grande échelle.

N° 70_2 Courbes de régulation des machines Woolf, à cylindres bout à bout ou côte à côte points morts communs. — Dans les machines à cylindres bout à bout, les pistons des cylindres conjugués sont montés sur une tige commune, et la somme des travaux développés sur les deux pistons est transmise à l'arbre de couche par la même bielle. Il n'y a par suite, aucun intérêt à ce que les deux cylindres produisent la même quantité de travail. — Avec un espace neutre de volume déterminé entre les deux cylindres, la régulation doit être établie de manière à diminuer le plus possible la dépression de l'évacuation du cylindre admetteur à l'introduction du cylindre détendeur. — Presque toujours, les deux tiroirs sont conduits par le même excentrique, et les différences de régulation qui peuvent exister pour ces deux organes, proviennent des différences de recouvrements.

Dans les machines à cylindres côte à côte, les pistons arrivent en même temps à leurs points morts de noms contraires ; chaque piston a une transmission de mouvement distincte, et actionne une manivelle spéciale ; ces manivelles étant calées à 180°, il n'y a pas un intérêt majeur à ce que les deux cylindres conjugués produisent le même travail ; mais il est bon, pour la moindre fatigue des pièces, que ces travaux diffèrent peu.

I. — **Machines Woolf, à cylindres bout à bout points morts communs.** — La *fig.* 1, *pl.* X, représente l'épure de régulation des machines à pilon à deux paires de cylindres bout à bout, du paquebot transatlantique *la France*, type de *Maudslay* (n° 27_3). Nous avons expliqué au n° 210_3 du *Grand Traité*, la manière de procéder pour relever les éléments nécessaires au tracé d'une épure de régulation, et au n° 213_1 du même *Traité*, la construction et l'usage de l'épure *sinussoïdale*, la seule qui reste employée aujourd'hui. Il n'est

pas, par suite, nécessaire de revenir sur ces questions, et nous allons analyser sans autre explication, la régulation de la machine dont il s'agit. On trouvera d'ailleurs dans les TABLEAUX A et A (*suite*), les valeurs des divers éléments de la régulation qui nous occupe.

Les courbes dont les noms des points morts portent le chiffre 1, appartiennent à la paire de cylindres arrière, et conviennent aux deux pistons ainsi qu'aux deux tiroirs de cette paire de cylindres. Les courbes dont les noms des points morts portent le chiffre 2, appartiennent à la paire de cylindres avant, et conviennent aux deux pistons ainsi qu'aux deux tiroirs de cette paire de cylindres. — Les courbes des tiroirs dont les points morts portent les chiffres 1′ et 2′, correspondent à la marche arrière. — Enfin, les orifices dans lesquels se trouve la lettre A, appartiennent aux cylindres admetteurs, et ceux dans lesquels se trouve la lettre D, appartiennent aux cylindres détendeurs. — On remarquera sans doute que, contrairement à ce qui se fait le plus habituellement, nous avons croisé les orifices d'introduction et ceux d'évacuation, au lieu de laisser les orifices d'introduction d'un même côté, et ceux d'évacuation de l'autre. Nous avons adopté cette disposition, qui ne gêne d'ailleurs nullement pour la lecture de l'épure, afin de rendre plus distincts les orifices d'évacuation, qui se croisent lorsque les recouvrements sont négatifs. (Fig. 1, Pl. X.)

Les deux tiroirs de la même paire de cylindres sont conduits par le même excentrique; il n'y a, par suite, qu'un seul angle de calage. — Les recouvrements à l'introduction des cylindres admetteurs sont plus faibles que ceux des cylindres détendeurs; il en résulte une plus grande avance à l'introduction et une plus grande période d'introduction pour les premiers cylindres que pour les seconds. Par contre, les recouvrements à l'évacuation des cylindres admetteurs sont plus forts que ceux des cylindres détendeurs; il en résulte une plus faible avance et une plus grande période de compression pour les premiers cylindres que pour les seconds.

Du côté de l'introduction, les différences des avances n'ont pas grande importance, pourvu que chacune de ces avances soit suffisante, parce que les actions de ces avances s'ajoutent pour détruire l'inertie des pistons au moment où ils vont arriver au point mort. A ce point de vue, le cylindre admetteur considéré isolément, est dans de bonnes conditions. Pour le cylindre détendeur, le tiroir est à double orifice et démasque rapidement une grande section, de sorte qu'il n'y a pas à craindre du retard dans l'établissement d'équilibre de pression entre la boîte à tiroir et le cylindre.

La diminution de l'introduction du cylindre détendeur, par rapport à celle du cylindre admetteur, a pour effet de laisser une plus grande quantité de vapeur dans l'espace neutre entre les deux cylindres, et de préparer, par suite, une pression initiale plus élevée à l'introduction suivante du cylindre détendeur. Cela résulte de ce que cette vapeur est comprimée dans l'espace neutre par la marche du piston du cylindre admetteur (n° 69₂), jusqu'au moment où commence la période de compression de ce cylindre.

Du côté de l'évacuation, l'avance du cylindre détendeur a été déterminée indépendamment de toute considération relative au fonctionnement au Woolf, et

comme s'il s'agissait d'un cylindre ordinaire. Cette avance dépasse un peu la moyenne ordinaire de 0,10 de la course; cela tient à ce que la pression initiale d'évacuation du cylindre détendeur est assez faible.

Pour le cylindre admetteur, l'avance à l'évacuation est un peu inférieure à la valeur moyenne qu'on lui attribue généralement dans une machine ordinaire; mais ici il n'y a aucun intérêt à donner à cette avance une grande valeur, parce que la vapeur qui évacue ne va pas se condenser; il suffit que l'équilibre de pression entre le cylindre admetteur et l'espace neutre, ait eu le temps de s'établir au moment où les pistons arriveront à leur point mort. Par suite, l'avance à l'évacuation du cylindre admetteur peut être diminuée en même temps que le volume de l'espace neutre compris entre les deux cylindres.

Les actions des deux périodes de compression s'ajoutent, pour les deux cylindres, afin de préparer le travail de l'avance à l'introduction et changer le portage des articulations avant que cette avance à l'introduction ait lieu.

La période de compression du cylindre admetteur, dont la valeur est considérable parce que l'avance à l'évacuation est faible, commence la première et se fait avec de la vapeur à une pression relativement élevée et qui dépasse généralement une atmosphère; son action est considérable, bien qu'elle se fasse sentir sur un piston de faible diamètre, et il suffit d'une période de compression très-modérée au cylindre détendeur, pour parfaire le travail dévolu à cette partie de la régulation. D'ailleurs, comme les pistons de pompe à air sont conduits par les tiges des pistons moteurs, à l'aide d'une transmission par balanciers, la résistance de ces pompes vient en aide aux périodes de compression. Comme ces pompes sont à simple effet et que les mouvements de leurs pistons sont de sens contraires des mouvements des pistons moteurs, c'est surtout au point mort haut de ces derniers pistons que la résistance des pompes se fait sentir, alors que les fluides extraits du condenseur sont introduits dans les bâches. Cette résistance des pompes à air tend par suite à annuler le poids des pistons moteurs et de leurs attelages, dont l'action se fait sentir pendant la course montante.

II. — **Machines Woolf, à cylindres côte à côte points morts à 180°.** — La *fig.* 2, *pl.* X, représente les courbes de régulation de deux cylindres conjugués des machines Woolf, à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180°, de l'*Étoile du Chili*, type des *Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 27_1). — Les courbes dont les noms des points morts sont suivis de la lettre A, appartiennent au cylindre admetteur; les autres, dont les noms des points morts sont suivis de la lettre D, appartiennent au cylindre détendeur.

Nous remarquons d'abord que les avances à l'introduction du cylindre admetteur sont assez faibles, tandis que celles du cylindre détendeur sont relativement fortes. Cela tient à ce que les pistons des deux cylindres ayant des transmissions indépendantes, les avances doivent être en rapport avec le mode de fonctionnement de chacun de ces cylindres. Or pour le cylindre admetteur, Fig. 2, Pl. X.

la pression initiale est très-élevée, tandis qu'elle est faible pour le cylindre détendeur : d'où de plus grandes avances pour ce dernier.

La valeur moyenne de l'introduction est un peu plus forte pour le cylindre détendeur que pour le cylindre admetteur, en raison de ce que les avances sont plus grandes pour le premier cylindre, l'angle de calage des excentriques étant le même pour les deux. D'après les valeurs des efforts moyens inscrites au TABLEAU C, le cylindre détendeur produit deux fois plus de travail que le cylindre admetteur. Cette circonstance ne présente pas un grand inconvénient parce que l'appareil complet comporte deux paires de cylindres, et que les cylindres admetteurs d'un côté, et les cylindres détendeurs de l'autre, agissent sur des manivelles calées à angle droit. Il est bien évident qu'il eût été préférable, au point de vue de la régularité de la rotation, de faire travailler également tous les cylindres ; mais on ne pourrait obtenir cette égalité de travail qu'en diminuant notablement l'introduction des cylindres détendeurs, ce qui aurait pour effet d'augmenter la contre-pression des cylindres admetteurs. Or, la diminution d'introduction des cylindres détendeurs aurait nécessité l'augmentation de l'angle de calage de leurs excentriques ; cet angle aurait eu par suite, une plus grande valeur que pour les cylindres admetteurs, et il en serait résulté des difficultés pour le renversement de marche, la mise en train étant du système *Mazeline*. Ces difficultés se seraient trouvées accrues par le fait même de la diminution de l'introduction, puisqu'on introduit directement dans les cylindres détendeurs pour les mises en marche.

Les avances à l'évacuation et les périodes de compression ont à peu près la même valeur moyenne pour les deux cylindres, et cette valeur moyenne est convenable. Seulement, comme la machine est à pilon, on ne remarque pas l'écart qui existe d'habitude entre l'avance à l'évacuation du haut et celle du bas, et entre la compression du bas et celle du haut, les deux premières valeurs étant généralement plus fortes que les secondes. Cela tient à l'influence du poids des pistons, qui se fait sentir pendant la course montante de ces organes, et qui nécessite une compression plus forte vers le point mort haut, en permettant de réduire celle du bas. Ajoutons cependant que pour le cylindre admetteur, dont les tiges du piston conduisent l'une les pompes à air et l'autre la pompe de circulation, les résistances de ces pompes, qui se font surtout sentir pendant la course montante des pistons moteurs, vient en aide au travail de la compression.

N° 70_3 Courbes de régulation des machines Woolf, à deux cylindres côte à côte points morts à 90°. — Dans ce genre de machines, l'appareil complet ne comportant que deux cylindres dont les pistons agissent sur des manivelles calées à angle droit, la régulation doit avoir pour but d'établir, au moins pour la marche à toute puissance, l'égalité de travail dans les deux cylindres. On sait d'un autre côté (n° 69_3), que les évacuations du cylindre admetteur s'ouvrent un peu après que le piston du cylindre détendeur a commencé sa course, et qu'il y a par suite une double introduction dans ce cylin-

dre, d'où résulte forcément une perte de travail. La régulation doit être faite en vue de réduire cette perte à un minimum.

La *fig.* 3, *pl.* X représente les courbes de régulation des deux cylindres Woolf à pilon, du porteur maritime le *Henri IV*, type des *Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 28_1). Les TABLEAUX A et A (*suite*) donnent tous les résultats de cette régulation.

Les tiroirs sont conduits par des secteurs distincts, dont les excentriques ont d'ailleurs le même angle de calage; mais les courses des distributeurs et les dimensions des orifices sont différentes. L'organe qui a les plus grandes dimensions appartient au cylindre détendeur, ce qui facilite l'établissement d'équilibre de pression entre la boîte à tiroir et le cylindre, d'une part, et entre le cylindre et le condenseur, d'autre part. Ces plus grandes dimensions sont motivées par les faibles différences de pression qui déterminent l'écoulement de la vapeur.

On remarque tout d'abord, que les avances à l'introduction, d'ailleurs égales pour les deux cylindres, sont très-faibles; elles ne valent que 0,002 de la course pour chacun des bouts des cylindres. Cette faiblesse des avances, comparativement à ce qui se fait pour une machine à détente simple, s'explique par ce fait que dans le fonctionnement au Woolf, la contre-pression au cylindre admetteur est beaucoup plus forte et la pression au cylindre détendeur beaucoup plus faible que dans une machine ordinaire; d'où résulte que le travail de la compression est plus efficace pour arrêter le piston. D'autre part, pour le cylindre admetteur, dont le piston supporte les plus grandes différences de pression (n° 69_3), l'action de la pompe à air et celle de la pompe de circulation qui sont conduites par ce piston (n° 28_1), s'ajoutent à l'action de la compression, et motivent une faible valeur de cet élément ainsi que de l'avance à l'introduction. Enfin, l'égalité d'avance pour les deux bouts du cylindre, s'explique par ce fait que la machine étant à pilon, le poids des pistons s'ajoute à l'inertie lorsque ces organes marchent vers le bout mineur, tandis qu'ils se retranchent de l'inertie lorsqu'ils marchent vers le bout majeur. On a par suite réduit la différence des avances qui existe dans les machines horizontales, en faveur du bout majeur du cylindre. Fig. 3, Pl. X.

Les périodes d'introduction naturelle sont à très-peu près les mêmes pour les deux bouts de même nom des cylindres. D'après les résultats des essais (TABLEAU C), le travail du cylindre admetteur et celui du cylindre détendeur sont dans le rapport de 8 à 9 environ. On ne pourrait arriver à l'égalité de travail des deux cylindres, tout en conservant la même puissance, qu'en augmentant l'introduction du cylindre détendeur, ce qui ferait diminuer la valeur moyenne de la contre-pression dans le cylindre admetteur, et augmenterait par suite le travail de ce cylindre. Mais la différence des travaux qui se manifeste lors de la marche à toute puissance, disparaît en service courant, par suite de la diminution d'introduction au cylindre admetteur par l'organe de détente variable, et il arrive même un moment, avec 0,5 d'introduction au cylindre admet-

teur, par exemple, que ce dernier cylindre travaille plus que le cylindre détendeur. Cela résulte de ce que la diminution de la contre-pression au cylindre admetteur et de la pression d'introduction au cylindre détendeur, provenant d'une plus grande détente dans le premier cylindre, fait sentir son action pendant toute la course des deux pistons, tandis que pour le cylindre admetteur, la diminution de pression ne se fait sentir que pendant la période de détente. — Si l'introduction du cylindre admetteur était assez réduite, pour que la pression de la vapeur à fin de course du piston, fut égale à la contre-pression du cylindre détendeur, le travail de ce dernier cylindre serait nul.

A un autre point de vue, il y a intérêt, pour faciliter les mises en marche, que l'introduction du cylindre détendeur soit la plus grande possible, et la différence des travaux des deux cylindres, à l'allure moyenne de route, n'est pas suffisante pour motiver une diminution d'introduction du cylindre détendeur qui pourrait devenir gênante pour les manœuvres.

Les avances à l'évacuation et les périodes de compression ont la même valeur moyenne de 0,084, qui serait un peu faible pour une machine ordinaire. Nous avons déjà dit que l'action de la pompe à air et de la pompe de circulation dispensaient d'avoir de fortes compressions; toutefois, les avances à l'évacuation pourraient être un peu plus grandes, surtout au cylindre admetteur, afin d'introduire le plus tôt possible dans le cylindre détendeur, la nouvelle vapeur qui évacue le premier cylindre. La faible valeur de ces avances, résulte d'ailleurs de la grande valeur de la période d'introduction, et par suite de l'angle de calage qui lui convient. En conservant la valeur de cet angle de calage, les avances à l'évacuation ne pourraient être augmentées qu'en diminuant sur les recouvrements, ce qui réduirait les périodes de compression à des valeurs insuffisantes.

N° 70$_4$ Courbes de régulation des machines Woolf, à trois cylindres égaux côte à côte points morts à 90° et 135°. — Dans les premières machines Woolf à trois cylindres égaux mises en service dans la marine, les manivelles étaient calées à 120°, et se partageaient le cercle dans l'ordre suivant pour la *marche avant*: *cylindre avant* qui est un détendeur, *cylindre milieu* qui est l'admetteur, et *cylindre arrière* qui est le deuxième détendeur. De plus, dans ces machines, la vapeur qui évacuait le cylindre admetteur se rendait dans un réservoir dont le volume était environ double de celui d'un cylindre, puis elle était distribuée dans les cylindres détendeurs.

La pression absolue aux chaudières étant de $2^{at},75$, l'introduction était réglée de la manière suivante :

Cylindre milieu ou admetteur.	0,81	de la course
Cylindre détendeur avant.	0,765	—
Cylindre détendeur arrière	0,770	—

Dans ces conditions, avec le réservoir intermédiaire et en prenant pour terme de comparaison le travail développé sur le piston du cy-

lindre admetteur, les travaux sur les pistons des trois cylindres se trouvaient répartis de la manière suivante :

Travail du cylindre milieu ou admetteur	1,00
Travail du cylindre détendeur avant	0,53
Travail du cylindre détendeur arrière.	0,51

Ainsi, le cylindre admetteur produisait à lui seul presque autant de travail que les deux autres cylindres réunis.

En supprimant le réservoir intermédiaire, les travaux des trois cylindres se répartissaient comme suit :

Travail du cylindre milieu ou admetteur	1,00
Travail du cylindre détendeur avant	0,84
Travail du cylindre détendeur arrière	0,81

L'écart était beaucoup moins grand; cependant le cylindre milieu travaillait encore trop, au détriment de la régularité de la rotation.

A la suite de divers essais, les introductions furent augmentées, parce que la machine ne dépensait pas toute la vapeur produite aux chaudières, et on leur donna les valeurs suivantes :

Cylindre milieu ou admetteur.	0,892	de la course.
Cylindre détendeur avant.	0,863	—
Cylindre détendeur arrière	0,860	—

Dans ces conditions, et toujours avec le réservoir intermédiaire supprimé, les travaux sur les pistons se trouvèrent ainsi répartis :

Travail du cylindre milieu ou admetteur . . . . =	1,00
Travail du cylindre détendeur avant . . . . =	0,60
Travail du cylindre détendeur arrière. . . . . =	0,55

Ainsi l'augmentation de l'introduction aux trois cylindres avait eu pour effet d'accroître l'inégalité de travail sur les pistons; il y avait par suite lieu de chercher dans une autre voie le moyen de corriger ce défaut. — On peut arriver à l'égalité de travail des trois cylindres :

1° *Par une augmentation de la pression initiale.* — Cette augmentation a pour effet d'augmenter à la fois la pression du cylindre admetteur, la contre-pression de ce cylindre et la pression dans les cylindres détendeurs. Mais comme la contre-pression de ces derniers cylindres n'est pas modifiée, leur travail augmente de toute la quantité correspondante à l'élévation de pression, tandis qu'il n'en est pas de même dans le cylindre admetteur, dont le travail augmente très-peu. La puis-

sance de la machine devient naturellement plus grande en raison de l'élévation de pression. Si l'on veut conserver la même puissance, il faut diminuer le diamètre du cylindre admetteur.

2° *Par une augmentation de l'introduction du cylindre admetteur, celle des cylindres détendeurs n'étant pas modifiée.* — Une plus grande introduction du cylindre admetteur, augmente d'une petite quantité la poussée moyenne sur le piston de ce cylindre, car elle ne se fait sentir que pendant une portion restreinte de la course ; tandis qu'elle augmente dans un bien plus grand rapport la contre-pression au cylindre admetteur et la pression aux cylindres détendeurs. Le travail de ces derniers cylindres est augmenté, tandis que celui du cylindre admetteur est diminué. La puissance de la machine est d'ailleurs plus grande en raison de la plus grande quantité de vapeur dépensée.

3° *Par une diminution de l'introduction des cylindres détendeurs, celle du cylindre admetteur n'étant pas modifiée.* — Les cylindres détendeurs devant toujours absorber la même quantité de vapeur, et la prenant sous un volume moindre, doivent la recevoir à une pression plus élevée ; d'où augmentation de la contre-pression du cylindre admetteur et de la pression initiale des cylindres détendeurs. Par suite, augmentation du travail de ces derniers cylindres, et diminution du travail du premier. La puissance de la machine n'est d'ailleurs pas changée, puisqu'on dépense la même quantité de vapeur et au même degré de détente effective.

4° *Par la combinaison des moyens 2° et 3°, c'est-à-dire en augmentant l'introduction du cylindre admetteur et en diminuant en même temps l'introduction des cylindres détendeurs.*

Comme le premier moyen ci-dessus n'était pas applicable avec les chaudières à faces planes, les deux suivants seuls ont été d'abord employés, et les introductions réglées à 0,88 pour le cylindre milieu ou admetteur, et à 0,78 pour les cylindres extrêmes ou détendeurs. — Dans ces conditions, et le réservoir intermédiaire étant toujours supprimé, le travail du cylindre admetteur étant représenté par 1, le travail moyen des cylindres détendeurs était représenté par 0,82, le travail du cylindre avant restant toujours un peu supérieur à celui du cylindre arrière.

Nous avons expliqué, au n° 69_4, le mauvais effet que produit, sur l'emploi de la vapeur, la grande introduction des cylindres détendeurs, puisqu'il y a double introduction dans ces cylindres, qui reçoivent

d'abord la vapeur raréfiée de l'un des bouts du cylindre admetteur, puis de la vapeur à une pression plus élevée provenant de l'évacuation de l'autre bout de ce dernier cylindre. La perte est surtout sensible dans le cylindre avant, qui reçoit une quantité notable de la nouvelle vapeur d'évacuation, quelques instants seulement avant la fermeture de son introduction, ce qui explique que ce cylindre produit plus de travail que celui de l'arrière. — Le calage à 90° des manivelles des cylindres détendeurs remédie à cet inconvénient (n° 69_4).

Modifications apportées aux éléments de la régulation, pour obtenir l'inégalité d'introduction au cylindre admetteur et aux cylindres détendeurs. — Pour les appareils qui fonctionnent à une pression initiale de 2^{at},75, les introductions sont réglées, comme nous l'avons dit ci-dessus, à 0,88 pour le cylindre admetteur et à 0,78 pour les cylindres détendeurs. Avec les appareils qui fonctionnent à une pression initiale de 3^{at},50, comme celui du *Sané*, l'introduction qui était d'abord réglée à 0,66, pour les trois cylindres, a été augmentée et portée à 0,78 pour le cylindre admetteur. Mais des difficultés de mise en marche en arrière ont fait revenir à la régulation primitive.

L'inégalité d'introduction entre le cylindre admetteur et les cylindres détendeurs, peut s'obtenir sans difficulté quand les tiroirs sont conduits par des excentriques indépendants ; mais il n'en est pas de même avec la mise en train *Mazeline*, la seule employée avec ce genre de machines, et il en résulte une régulation un peu *forcée*, qui ne convient pas également bien à la marche arrière et à la marche avant.

La fig. 60 représente la régulation primitive des machines du *Sané*, type d'*Indret* (n° 29_2), avec la même introduction dans les trois cylindres, et les modifications qu'on a fait subir aux éléments de cette régulation pour augmenter l'introduction du cylindre admetteur.

Les tiroirs sont en D ; l'introduction du bas cesse en *n* aux 0,60 de la course, et celle du haut en *s*, aux 0,72 ; la moyenne vaut 0,66. L'angle de calage *a b* vaut 51°.

On peut augmenter l'introduction du cylindre admetteur en diminuant l'angle d'avance de la manivelle de son tiroir, ce qui se traduit ici par une augmentation de l'angle de calage *a b*. Mais les avances à l'introduction deviennent alors trop faibles, et ce moyen seul ne suffit pas. On peut encore augmenter l'introduction en diminuant les recouvrements; mais les avances à l'introduction deviennent alors trop grandes, et ce deuxième moyen ne doit pas non plus être

employé seul. — Il faut donc modifier à la fois l'angle de calage et les recouvrements.

L'angle de calage qui était de 51°, a été porté à 60°, ce qui a donné, avec les mêmes recouvrements:

Introduction du bas (en *o*).	= 0,68	de la course.
Introduction du haut (en *t*)	= 0,78	—
Moyenne	= 0,73	—

Les recouvrements à l'introduction ayant ensuite été diminués de 18mm,5 pour le haut et de 17mm,6 pour le bas, afin d'avoir des avances à l'introduction convenables, on a eu comme introductions:

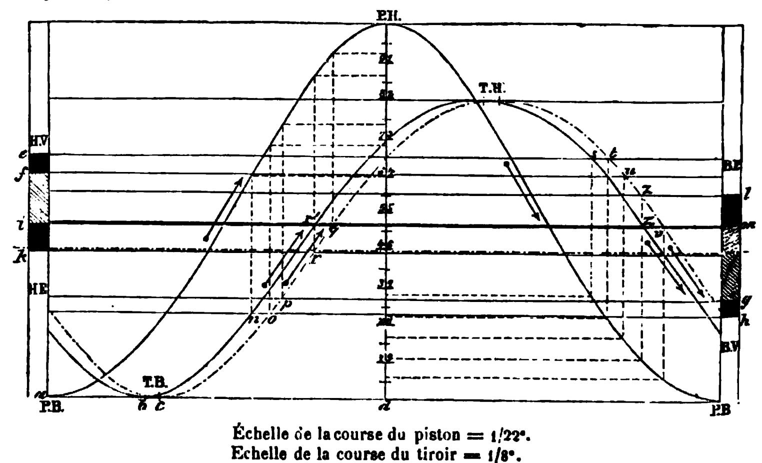
Introduction du bas (en *p*)	= 0.73	de la course
Introduction du haut (en *u*)	= 0,83	—
Moyenne.	= 0,78	—

D'un autre côté, la modification de l'angle de calage a réduit, en diminuant l'angle d'avance du tiroir, les avances à l'évacuation, savoir:

Pour l'évacuation du bas, de	0,13	de la course à	0,075
Pour l'évacuation du haut, de.	0,11	—	0,060
La moyenne, de.	0,12	—	0,067

Les dernières valeurs ayant été jugées trop faibles, il a fallu couper aussi sur les barrettes du tiroir, du côté de l'évacuation, les quantités $ik = 28^{mm},5$ pour

Fig. 60. Relative aux modifications apportées aux éléments de la régulation, pour passer des introductions égales dans les machines à trois cylindres à une plus grande introduction au cylindre admetteur qu'aux cylindres détendeurs.



Échelle de la course du piston = 1/22e.
Échelle de la course du tiroir = 1/8e.

le haut, et $ml = 35^{mm},3$ pour le bas ; ce qui, comme on le voit sur l'épure, a ramené les avances à leurs valeurs primitives, ou à peu près.

Des modifications semblables ont été faites sur le tiroir du cylindre admet-

teur des machines fonctionnant à $2^{at},75$ de pression absolue, pour obtenir une introduction moyenne de 0,88 dans ce cylindre, en conservant une introduction moyenne de 0,78 pour les cylindres détendeurs.

Nous allons analyser maintenant, la régulation des principaux types de machines à trois cylindres.

Régulation actuelle des machines Woolf à trois cylindres. — I. **Marengo.** — La *fig.* 4, *pl.* X, représente l'épure de régulation des machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°, du cuirassé le *Marengo*, type des *Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 30_2). Tous les résultats de la régulation sont inscrits aux TABLEAUX A et A (*suite*).

On remarque d'abord que les avances à l'introduction comme à l'évacuation, ainsi que les périodes de compression, sont faibles pour les trois cylindres, et surtout pour le cylindre admetteur. Cependant les courbes d'indicateur montrent que ces éléments ont une valeur suffisante, eu égard au mode de fonctionnement de l'appareil, et surtout aux larges proportions des orifices. — Toutefois, il pourrait paraître difficile d'admettre qu'une période moyenne de compression de 0,017 pour le cylindre admetteur soit suffisante, même en ayant égard à ce que la vapeur renfermée dans le cylindre a une pression supérieure à une atmosphère. Mais il y a lieu de considérer que les deux orifices d'évacuation sont ouverts en même temps, pendant un demi-dixième environ de la course du piston ; par suite, la vapeur qui évacue l'un des bouts du cylindre pénètre en partie dans l'autre, et y élève la contre-pression avant que la période de compression réelle soit commencée; cette compression se fait ensuite avec de la vapeur à une pression beaucoup plus élevée que celle de l'évacuation normale dans un cylindre ordinaire. — Au surplus, pour le cylindre admetteur, la faiblesse des avances à l'évacuation et des périodes de compression, résulte de la faible avance relative de la manivelle du tiroir sur celle du piston, cette dernière étant motivée par la grande introduction de ce cylindre admetteur. Fig. 4, Pl. X.

Pour les raisons expliquées plus haut, les introductions sont inégales aux cylindres détendeurs et au cylindre admetteur, et sont plus grandes pour ce dernier. Les résultats des essais consignés au *Tableau* C donnent, pour rapports des travaux développés sur les trois cylindres :

Travail du cylindre admetteur. . . . . =	1,00
Travail moyen des cylindres détendeurs. . . . . =	0,87

On n'est pas encore arrivé à l'égalité de travail dans les trois cylindres; ce résultat ne pourrait être obtenu qu'en augmentant encore l'introduction du cylindre admetteur, ou en diminuant les introductions des cylindres détendeurs. Or, l'introduction du cylindre admetteur qui vaut déjà 0,87 de la course en moyenne, ne saurait être poussée plus loin. Il ne reste, par suite, que la ressource

de diminuer l'introduction des cylindres détendeurs. Mais cette diminution amènerait un plus grand écart dans les valeurs de l'angle de calage pour les deux genres de cylindres; or, cet écart est déjà bien considérable, au point de vue du renversement de marche, la mise en train étant du système *Mazeline*.

L'angle du toc est de 116°, il est juste double de l'angle de calage pour les tiroirs des cylindres détendeurs, ces tiroirs étant en D; par suite, la régulation des tiroirs des cylindres détendeurs reste la même pour la marche arrière que pour la marche avant. Mais il n'en est pas de même pour le tiroir du cylindre admetteur; l'angle de calage vaut 67° pour la marche avant, et comme l'angle du toc n'est que de 116°, il en résulte pour la marche arrière un angle de calage de 116° — 67° = 49°, beaucoup plus faible que celui de la marche avant. — Nous avons tracé la courbe du tiroir qui correspond à cet angle de calage de 49° pour la marche arrière; c'est celle qui est marquée M°*ar* sur ses flèches de direction. Nous voyons, d'après cette courbe, que les avances et surtout celles de l'introduction, ont des valeurs considérables, hors de proportion avec les valeurs moyennes habituelles de ces éléments; par contre, les périodes d'introduction sont sensiblement diminuées. Cette diminution d'introduction, jointe à la grande valeur des avances à l'introduction, peut être une gêne pour la mise en marche en arrière.

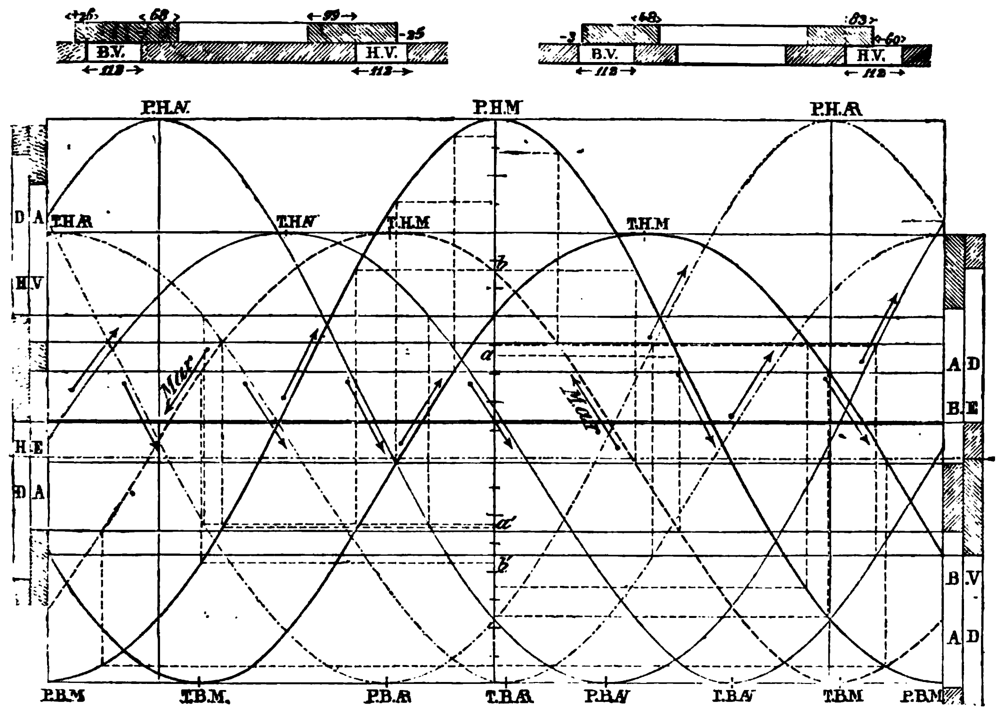
En effet, depuis la fermeture de l'introduction de chaque bout du cylindre, jusqu'à l'ouverture de l'évacuation correspondante, le piston du cylindre admetteur agit à-contre de la marche à produire, parce qu'il est poussé sur l'autre face par la vapeur introduite dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, et qui pénètre par l'orifice d'évacuation ouvert de l'autre bout du cylindre. L'action négative de ce piston se fait sentir de *a* en *b* sur la course montante, et de *a'* en *b'* sur la course descendante. De *b* en *c* et de *b'* en *c'*, les deux orifices d'évacuation sont ouverts, et l'action du cylindre admetteur est nulle; cette action devient positive de *c* en *d* et de *c'* en *d'* pendant les périodes de compression, et devient nulle de nouveau à l'avance à l'introduction. — On voit que c'est surtout de *a* en *b* et de *a'* en *b'* que le piston du cylindre admetteur s'oppose à la mise en marche en arrière, et cela avec un bras de levier assez grand, puisque aux points *a* et *a'* la manivelle est distante de ses points morts de 62° pour le point *a*, et 60° pour le point *a'*. Il est bien évident, d'après cela, que l'écart qui existe entre les deux régulations du cylindre admetteur, l'une pour la marche avant et l'autre pour la marche arrière, ne permet pas de pousser plus loin les différences d'introduction entre le cylindre admetteur et les cylindres détendeurs.

II. **Sané**. — La *fig.* 61 représente l'épure de régulation des machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°, du croiseur le *Sané*, type d'*Indret* (n° 29_2). Tous les résultats de la régulation sont inscrits aux TABLEAUX A et A (*suite*).

On remarque encore que les avances à l'introduction sont assez faibles; leur moyenne vaut seulement 0,005 de la course pour tous les cylindres. Pour le

cylindre admetteur, la faiblesse de ces avances est motivée par la faible valeur de la compression, afin de donner à celle-ci le temps d'agir pour changer le portage des articulations. Pour les cylindres détendeurs, on a fait les recou-

Fig. 61. Courbe de régulation d'une machine Woolf à trois cylindres côte à côte points morts 90° et 135°.



Sané { Échelle de la course des pistons = 1/10°. Échelle de la course des tiroirs = 1/5°.

vrements aussi grands que possible, afin de diminuer l'écart des angles de calage, et les avances à l'introduction se sont trouvées réduites. L'inconvénient n'est pas grand, à cause de la valeur des périodes de compression.

Les avances à l'évacuation ont une valeur assez élevée, surtout pour le cylindre admetteur; mais, par contre, les périodes de compression, qui ont une valeur convenable pour les cylindres détendeurs, sont très-faibles pour le cylindre admetteur, puisqu'elles atteignent à peine 0,03 de la course. Cela résulte de la faible avance de l'excentrique du tiroir de ce cylindre, et de ce qu'on a donné aux avances à l'évacuation une grande valeur. Ici, comme pour le *Marengo*, ces faibles périodes de compression au cylindre admetteur ne produisent pas de mauvais effet, parce que les deux évacuations sont ouvertes en même temps pendant une portion notable de la course du piston : 0,12 pour le haut et 0,09 pour le bas ; la nouvelle vapeur d'évacuation de chaque bout du cylindre a par

suite le temps de pénétrer dans l'autre bout, et de faire résistance à la marche du piston avant que l'orifice se ferme. D'un autre côté, lorsque cette fermeture a lieu, la compression se fait avec de la vapeur à une pression plus élevée, et l'inertie du piston peut être vaincue avant l'ouverture de l'orifice d'introduction. La faiblesse de l'avance à l'introduction s'accorde d'ailleurs très-bien avec la compression, et il serait mauvais que ces avances fussent fortes, car les orifices pourraient s'ouvrir avant le changement de portage des articulations, et il se produirait des chocs.

Les tiroirs étant en D, l'angle de calage des manivelles de tiroirs est de 60° pour le cylindre admetteur et de 50° pour les cylindres détendeurs. L'angle du toc est de 100°, c'est-à-dire double de l'angle de calage correspondant aux cylindres détendeurs; par suite, pour ces cylindres, la régulation est la même pour les deux sens de la rotation. Mais pour le cylindre admetteur, l'angle de calage devient, lors de la marche arrière, 100° — 60° = 40°, ce qui fait augmenter hors de toutes proportions les avances et les périodes de compression. Le plus grand défaut de cette régulation consiste en ce que, de *a* en *b* pour la course montante et de *a'* en *b'* pour la course descendante, l'introduction du cylindre admetteur est fermée, tandis que l'évacuation de l'autre bout du cylindre est ouverte. Pendant ces portions de course, le piston du cylindre admetteur s'oppose à la mise en marche, et cela avec un bras de levier considérable, puisque les points *a* et *a'* correspondent à des positions de la manivelle distantes du point mort de 74° pour le premier et de 70° pour le second. La machine ne part généralement pas en arrière lorsque le piston du cylindre admetteur est arrêté entre les points *a* et *b* de la course montante, ou entre les points *a'* et *b'* de la course descendante.

Cette difficulté pour la mise en marche en arrière a conduit à sacrifier l'égalité de travail des trois cylindres, et l'on en est revenu, pour ce genre de machines, à la même introduction pour tous les cylindres. On a ainsi obtenu les résultats consignés aux TABLEAUX A et A (*suite*) pour l'*Infernet*, qui est du même type que le *Sané*.

III. **Suffren**. — *La fig.* 5, *pl.* X, représente l'épure de régulation des machines Woolf, horizontales à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°, du cuirassé le *Suffren*, type d'*Indret* (n° 29_3). Tous les résultats de la régulation sont inscrits aux TABLEAUX A et A (*suite*).

Pour la marche avant, la régulation est à très-peu de chose près celle du *Marengo* analysée ci-dessus; mais elle en diffère essentiellement pour la marche arrière. Sur le *Marengo*, les angles de calage des cylindres détendeurs ont une même valeur pour les deux sens de la rotation, tandis que celui du cylindre admetteur a des valeurs différentes. Le contraire a lieu sur le *Suffren*: l'angle de calage du cylindre admetteur a même valeur pour les deux sens de la rotation, tandis que ceux des cylindres détendeurs ont des valeurs différentes.

L'angle de calage étant de 66° pour le cylindre admetteur et de 57° pour les cylindres détendeurs, l'angle du toc est de 132°, juste double de l'angle de calage du cylindre admetteur. La régulation reste donc la même dans ce dernier cylindre, pour les deux marches. Pour les cylindres détendeurs, l'angle de calage de la marche arrière vaut 132° — 57° = 75°; c'est-à-dire que les tiroirs des cylindres détendeurs sont mis considérablement en retard lors de la marche arrière. Les courbes de la *fig.* 5, *pl.* X, marquée M^e_{ar}, avec l'indication du nom du cylindre, correspondent à cette marche.

Les avances à l'introduction sont négatives, et les avances à l'évacuation ainsi que les périodes de compression sont très-faibles. D'autre part, les périodes d'introduction sont augmentées, et atteignent 0,92 pour le haut et 0,87 pour le bas. Par suite de ces grandes introductions, l'action négative du cylindre admetteur ne se fait sentir que pendant les petites portions de sa course *ab* et *a'b'*, et d'ailleurs avec un faible bras de levier. A ce point de vue, la mise en marche en arrière doit s'effectuer beaucoup plus facilement qu'avec la même régulation pour les deux sens de la rotation dans les cylindres détendeurs. — Le retard à l'introduction dans ces derniers cylindres n'influe pas sensiblement sur la mise en marche en arrière, à cause du petit bras de levier avec lequel la vapeur agirait. Cette régulation ne présenterait des inconvénients que lors d'une marche soutenue en arrière, parce qu'une fois la machine partie, la régulation est défectueuse pour les cylindres détendeurs. Fig. 5, Pl. X.

IV. **Anadyr**. — La *fig.* 6, *pl.* X, représente l'épure de régulation des machines Woolf, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135°, du paquebot l'*Anadyr* des *Messageries maritimes*, type de la *Ciotat* (n° 28_{12}). — Tous les résultats moyens de la régulation sont inscrits aux TABLEAUX A et A (*suite*).

Comme les tiroirs des cylindres détendeurs n'ont pas rigoureusement les mêmes recouvrements, il a été nécessaire de tracer les orifices pour chacun de ces cylindres. La lettre A désignant les orifices du cylindre admetteur, D_1 désigne les orifices du cylindre détendeur avant, et D_2 les orifices du cylindre détendeur arrière. Fig. 6, Pl. X.

Les tiroirs des cylindres détendeurs sont conduits par des secteurs; le tiroir du cylindre admetteur est conduit par un excentrique à calage fixe, et distribue à contre-vapeur lors de la marche arrière. Mais ce cylindre admetteur est annulé, lors de la marche arrière, par la mise en communication, au moyen de deux gros tuyaux munis de robinets, de ses deux extrémités avec les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs. Ces derniers cylindres agissent par suite seuls lors de la marche arrière, et la machine fonctionne à détente simple.

En étudiant l'épure, on remarque que la régulation a été faite comme

pour une machine ordinaire, avec une introduction moyenne de 0,72 dans les trois cylindres. C'est surtout la valeur relativement faible de cette introduction qui a motivé l'annulation du cylindre admetteur pour les manœuvres. En effet, l'action négative de ce cylindre se ferait sentir pendant la portion *a b* de la course montante et pendant la portion *a' b'* de la course descendante, et avec une assez grand bras de levier : car le point *a* correspond à une distance angulaire du point mort haut égale à 78° et le point *a'* à une distance angulaire du point mort bas de 61°.

La machine, étant à pilon, aurait dû avoir dans sa régulation un écart moindre entre les avances du haut et celles du bas, de même qu'entre les compressions; et cela, à cause de l'action de la pesanteur sur les pistons et la transmission de mouvement. Mais il y a lieu de considérer que pour les cylindres détendeurs, l'action de ces poids est contre-balancée par la résistance des pompes à air, qui sont conduites par les tiges des pistons moteurs, et à l'aide de balanciers. Ces pompes étant aspirantes élévatoires, offrent surtout une grande résistance vers les points morts hauts des pistons.

N° 70_8 Courbe de régulation pour une détente Meyer. — L'organe de détente, genre *Meyer*, est constitué par les mouvements combinés de deux tiroirs. Le tiroir ordinaire de distribution est du genre en coquille; il porte des barrettes extérieures formant, avec ses barrettes ordinaires, deux orifices qui aboutissent sur le dos du tiroir. Ce dos est dressé parallèlement à la table du cylindre et porte l'organe de détente; cet organe joue, sur les orifices du tiroir, le rôle d'un distributeur; l'introduction a presque toujours lieu par les arêtes intérieures.

Dans certains cas, les barrettes de l'organe de détente sont invariablement liées l'une à l'autre, et le changement d'introduction s'obtient par une variation de la course de l'organe de détente. Ce changement de course s'opère, le plus souvent, en faisant varier les rapports des bras d'un levier par l'intermédiaire duquel l'excentrique donne son mouvement à l'organe. C'est une disposition semblable que l'on remarque sur la *fig.* 1, *pl.* V.

D'autres fois, et c'est ce qui a le plus ordinairement lieu pour les machines de la marine militaire, la course de l'organe de détente est fixe; mais les barrettes sont séparées, et leur écartement peut être modifié. Ce changement d'écartement des barrettes, et par suite des recouvrements de l'organe de détente sur les orifices du tiroir, s'obtient de la manière suivante. Les deux barrettes sont montées sur une tige commune avec des taraudages de pas contraires; à l'aide d'un mécanisme extérieur très-simple, on peut faire tourner cette tige et par suite rapprocher ou écarter les barrettes, suivant le sens du mou-

vement de rotation qu'on lui imprime. Du plus ou moins grand écartement des barrettes résulte le degré d'introduction; l'organe de détente introduisant par les arêtes intérieures, le minimum d'introduction correspond au plus grand rapprochement des barrettes.

1. **Organe de détente Meyer de course fixe et à barrettes d'écartement variable, conduit par un excentrique à calage fixe.** — Cet organe de détente, que l'on rencontre sur plusieurs navires, et notamment sur le *Duquesne*, le *Rigault de Genouilly* et la *Tempête* (n° 31_1), dont les machines ont été construites par l'usine d'*Indret*, est appliqué aux cylindres admetteurs. La *fig.* 7, *pl.* X, représente celui du *Rigault de Genouilly*. La *vue* 1° donne les positions de l'organe de détente et du tiroir lorsque le piston est au point mort bas, et la *vue* 2°, les positions des mêmes organes, lorsque le piston est au point mort haut. C'est dans ces positions que l'on relève les distances xy, pour l'introduction du bas, entre les arêtes d'introduction de l'orifice du tiroir et de l'organe de détente, et $x'y'$ pour l'introduction du haut, entre les mêmes arêtes pour l'autre bout du cylindre. Ces distances servent à placer, sur l'épure de régulation, les courbes de l'organe de détente par rapport à celle du tiroir.

En dehors de ses barrettes, le tiroir ordinaire de distribution porte deux autres barrettes qui forment avec les premières les canaux b et h; le dos du tiroir est dressé pour recevoir les deux barrettes de détente B et H, montées sur la même tige avec des taraudages de pas contraires. Au lieu d'être fixée au pied de bielle de l'excentrique, cette tige est emprisonnée dans une articulation qui permet de la faire tourner sur elle-même. Dans ce mouvement de la tige, les barrettes se rapprochent ou s'écartent, d'où résulte le changement d'introduction. — La barrette B distribue la vapeur par l'orifice b, pour le bas du cylindre, et la barrette H par l'orifice h, pour le haut. Dans les deux cas, la vapeur ne peut pénétrer dans le cylindre qu'autant que la barrette du tiroir a démasqué son orifice. — Les barrettes B et H introduisent par les arêtes intérieures; à l'extérieur, ces barrettes ont une hauteur telle que les orifices ne sont jamais démasqués de ce côté. — La course de l'organe de détente est plus petite que celle du tiroir. D'autre part, l'angle de calage de l'excentrique du tiroir est de 134°, tandis que celui de la manivelle de détente est seulement de 70°. La manivelle du tiroir est par suite en avance sur celle de la détente de $134° - 70° = 64°$.

Fig. 7, Pl. X. Pour relever les éléments nécessaires au tracé de l'épure de régulation, on procède comme à l'ordinaire (n° 210_3 du *G^d Traité*), en déterminant bien exactement les points morts du piston. On prend les relevés pour tracer les courbes de l'organe de détente comme pour tracer celle du tiroir; mais au lieu de mesurer les recouvrements, il suffit de prendre les distances $x\,y$, $x'\,y'$, quand le piston est à ses points morts. Comme moyen de vérification, on pourrait prendre ces distances en tout autre point de la course.

Pour construire l'épure, *fig.* 7, *pl.* X, on commence par tracer la courbe sinussoïdale du piston et celle du tiroir ordinaire, en plaçant les orifices qui correspondent à ce dernier. On trace ensuite la courbe sinussoïdale qui correspond à chacune des arêtes d'introduction de l'organe de détente, suivant l'écartement des barrettes; et les rencontres des courbes de l'organe de détente avec la courbe du tiroir, donnent les points d'ouverture et de fermeture des orifices *b* et *h*. — La courbe marquée T sur ses flèches de direction est celle du tiroir. Au point mort bas du piston, l'orifice *b*, *vue* 2°, est ouvert de la quantité $x\,y$; le tiroir et l'organe de détente montent, mais ce dernier est en retard sur le tiroir; il faut donc porter, sur l'épure, $x\,y$ à partir de x, origine de la courbe du tiroir, et vers le point mort bas de cet organe. Le point y, ainsi déterminé, est l'origine de la courbe de l'organe de détente pour la barrette B. — Lorsque le piston est au point mort haut, l'orifice *h* est ouvert de la quantité $x'\,y'$; les deux tiroirs descendent, et celui de la détente est en retard par rapport à l'autre. Il faut donc porter $x'\,y'$ à partir de x', origine de la courbe du tiroir ordinaire au point mort haut du piston, et vers le point mort haut du tiroir. Le point y' ainsi déterminé, est l'origine de la courbe de l'organe de détente pour la barrette H. — Afin de ne pas commettre d'erreur dans le tracé des courbes de l'organe de détente, on peut tracer une de ces courbes, sur une base quelconque, celle de la figure par exemple, à l'aide des éléments relevés et comme s'il s'agissait d'un tiroir, puis faire glisser cette courbe parallèlement à elle-même, dans la direction des ordonnées, jusqu'à ce qu'elle passe par les points déterminés y et y'.

Les deux courbes dont nous venons d'indiquer le tracé, correspondent au maximum d'écartement des barrettes B et H, et par suite au plus fort degré d'introduction. La première, qui a son origine en y sur l'ordonnée du point mort bas du piston, rencontre la courbe du tiroir aux deux points o et f: le premier o est en avant du point mort bas du piston et correspond à l'ouverture de l'orifice *b*; le second f, après le point mort du piston, correspond à la fermeture de ce même orifice. Entre les points o et f, toutes les ordonnées comprises entre la courbe du tiroir et celle de la barrette B mesurent les ouvertures de l'orifice *b* pour les points de la course du piston qui correspondent à ces ordonnées. — La deuxième courbe, celle de la barrette H, qui a son origine en y' sur l'ordonnée du point mort haut du piston, coupe aussi la courbe du tiroir en deux points: l'un o', avant le point mort haut du piston, correspond à l'ouverture de l'orifice *h*; l'autre f', après le point mort haut du piston, correspond à la fermeture de cet orifice. Ici encore, entre les points o' et f', les ordonnées limitées à la courbe du tiroir et à celle de la barrette H mesurent les ouvertures de l'orifice *h* pour les points de la course du piston qui correspondent à ces ordonnées.

On voit qu'aux points o et o', les avances à l'introduction sont considérables; puisque ces points sont très-éloignés des points morts du piston. Cependant ces avances ne sont pas nuisibles, parce que la vapeur ne peut pénétrer dans le cylindre qu'autant que le tiroir ordinaire démasque son orifice. D'un autre côté, les avances à l'introduction par l'organe de détente sont inférieures aux périodes de détente naturelle qui correspondent à la même course, et il n'y a pas, par suite, réintroduction après la fermeture. — On remarque d'ailleurs que les introductions qui cessent aux points f et f', ont une valeur moyenne de 0,64, et que l'organe de détente ferme un peu après le tiroir pour l'introduction du bas, tandis qu'il ferme un peu avant, mais d'une très-petite quantité, pour l'introduction du haut. Comme l'organe de détente n'a pas de système de déclanchement, l'introduction au maximum d'écartement de ses barrettes correspond à la marche à toute puissance.

Sur la même épure, se trouvent tracées les deux courbes de l'organe de détente qui correspondent au minimum d'écartement des barrettes et par suite au maximum de détente. Pour trouver l'origine de ces courbes, il a fallu mesurer sur le tiroir les distances $x\,y_1$, lorsque le piston est au point mort bas, et $x'\,y'_1$, lorsque le piston est au point mort haut. Ces distances ont ensuite été portées, comme les premières, de x en y_1 et de x' et y'_1 à partir de l'origine de la courbe du tiroir sur l'ordonnée du point mort correspondant du piston, pour obtenir les origines des courbes de détente. — Les ouvertures ont lieu aux points o_1, o'_1 et les fermetures aux points f_1 f'_1. L'introduction moyenne vaut 0,14 de la course du piston.

Pour passer de l'introduction moyenne de 0,64 à l'introduction moyenne de 0,14, chacune des barrettes a été déplacée de la quantité $y\,y_1 = y'y'_1$. Si l'on voulait trouver l'écartement des barrettes pour une introduction donnée, 0,40 de la course par exemple, on chercherait par tâtonnement les points de la courbe du tiroir où les courbes de la détente doivent passer. Ainsi, en remarquant que l'introduction du haut est plus forte que celle du bas, la machine étant à bielle en retour, prenons les 0,36 de la course montante du piston, ce qui correspond au point m de la courbe du tiroir, point par lequel doit passer la courbe de la barrette B pour fermer aux 0,36 de la course du piston. En prenant pour repère la course de la barrette B qui correspond à l'introduction moyenne de 0,64, on voit que cette barrette devait être rapprochée de la quantité $m\,n$. Prenons cette quantité, et rapprochons également la barrette II, en traçant le petit bout de courbe parallèle à la distance $m'n' = m\,n$. Nous obtenons une introduction de 0,433. — La moyenne vaut 0,396 ce qui est suffisamment approché. S'il y avait une différence sensible entre la moyenne trouvée et la moyenne voulue, il faudrait recommencer l'opération. Si la moyenne trouvée était trop forte, il faudrait prendre pour point de départ une introduction du bas plus faible, 0,35 ou 0,34 par exemple, si la moyenne était trop faible, l'introduction du bas qui sert de point de départ devrait être prise égale à 0,37 ou 0,38. — On peut ainsi déterminer les positions des barrettes pour tel degré d'introduction que l'on désire, et indiquer cette introduction sur la graduation faite à côté du mécanisme de manœuvre de la tige.

L'organe de détente dont il s'agit ne se déclanchant pas pour marcher en arrière, on place les barrettes à leur maximum d'écartement. Pour vérifier si

l'organe de détente ne gêne pas la distribution, nous avons construit les deux courbes en éléments séparés par un point, qui correspondent à cette marche arrière. — L'excentrique de l'organe de détente étant monté sur l'arbre du tiroir, se déplace en même temps que l'excentrique de ce dernier organe, et du même angle; or, lors de la marche avant, l'excentrique du tiroir est en avance sur celui de la détente de 134°-70° = 64°. Lors de la marche arrière, c'est l'excentrique de la détente qui est en avance sur celui du tiroir, et du même angle de 64°. — En conservant pour la marche arrière, les courbes de tiroir et de piston qui ont servi pour la marche avant, il suffit de transposer les courbes de l'organe de détente, en mettant leurs points morts à 64°, en avance sur les points morts de même nom du tiroir. On obtient ainsi les *courbes* tracées en éléments séparés par un point. — L'arête du bas, B, ouvre son orifice au point *p*, avant que le tiroir ordinaire ait ouvert à l'introduction, et le ferme au point *q*, bien après le point mort haut; la barrette B ne gêne donc pas la distribution. La barrette du haut, H, ouvre son orifice au point *p'*, un peu avant le point mort haut du piston, mais après que le tiroir a ouvert à l'introduction; l'avance est un peu diminuée, mais elle est encore suffisante. Cette barrette H ferme son orifice au point *q'*, après le point mort bas du piston; la barrette H ne gêne pas non plus la distribution lors de la marche arrière. — Si l'avance produite par la barrette H n'était pas jugée suffisante, il faudrait écarter un peu plus les barrettes.

II. **Organe de détente Meyer de course variable, conduit par un excentrique à calage fixe.** — Dans ce genre de détente comme dans le précédent, le tiroir porte des orifices sur lesquels se promène l'organe de détente; les ouvertures et les fermetures résultent des marches combinées des deux tiroirs. Ici, les barrettes de la détente sont invariablement liées l'une à l'autre; l'organe est conduit par un excentrique à calage fixe, au moyen d'une transmission par levier. En déplaçant le point d'appui du levier, on fait varier la course de détente, la course du pied de bielle d'excentrique conservant évidemment la même valeur.

La *fig.* 8, *pl.* X, représente l'épure de régulation de l'organe de détente appliqué par *Maudslay* sur les cylindres admetteurs des machines Woolf à pilon, du paquebot transatlantique la *France* (n° 27_s). Cet organe introduit par les arêtes intérieures; à l'extérieur, les barrettes ont assez de hauteur pour ne jamais démasquer les orifices du tiroir. — La barrette B distribue la vapeur par l'orifice *b* pour le bas du cylindre; la *vue* 2° donne les positions relatives du tiroir et de l'organe de détente lorsque ce piston est au point mort bas. — La barrette H distribue la vapeur par l'orifice *h* pour le haut; la *vue* 1° donne les positions relatives du tiroir et de l'organe de détente lorsque le piston

est au point mort haut. Dans tous les cas, la vapeur ne pénètre dans le cylindre qu'autant que la barrette du tiroir ordinaire a démasqué son orifice.

La course de l'organe de détente est tantôt plus petite, tantôt plus grande que celle du tiroir, suivant le degré d'introduction à produire. D'un autre côté, l'angle de calage de l'excentrique du tiroir étant de 128°, celui de la manivelle de détente est de 90°. La manivelle du tiroir est par suite en avance sur celle de la détente, de 128° — 90° = 38°, pour la marche avant, et se trouve en retard de 180° — 38° = 142° lors de la marche arrière.

Pour relever les éléments nécessaires au tracé de l'épure de régulation, on procède comme à l'ordinaire (n° 210_3 du *Gd Traité*), en déterminant bien exactement les points morts du piston. On prend les relevés pour tracer les courbes de l'organe de détente comme pour celle du tiroir, en faisant un relevé pour chaque valeur de la course de l'organe de détente; mais au lieu de mesurer les recouvrements, il faut prendre, pour chaque valeur de la course, les distances $x\,y$, $x'\,y'$ des arêtes d'introduction, quand le piston est à ses points morts. Comme moyen de vérification, on pourrait prendre ces distances à un autre point quelconque de la course. — Pour le cas particulier qui nous occupe, l'angle de calage de l'excentrique de l'organe de détente étant de 90°, et la bielle d'excentrique étant très-longue, l'organe de détente est toujours à mi-course quand le piston est au point mort. Par suite, les distances $x\,y$, $x'\,y'$, n'ont besoin d'être relevées qu'une seule fois.

Pour construire l'épure, *fig.* 8, *pl.* X, on commence par tracer la courbe sinussoïdale qui correspond à chacune des arêtes d'introduction de l'organe de détente, suivant la course de cet organe, en prenant pour point de départ les positions y et y', qui sont ici sur la demi-course, et qui sont d'ailleurs déterminées dans tous les cas par les distances xy, $x'y'$. — Les rencontres des courbes de l'organe de détente avec la courbe du tiroir donnent les moments d'ouverture et de fermeture des orifices *b* et *h*. — Nous avons tracé, pour chaque orifice, deux courbes correspondant, l'une au maximum, l'autre au minimum d'introduction. Les parties pleines de ces courbes appartiennent à la portion de la rotation pendant laquelle l'organe de détente laisse son orifice ouvert. — Cette épure de régulation est très-claire, et ne nécessite aucune explication particulière autre que celles que nous venons de donner. Fig. 8, Pl. X.

Comme l'organe de détente est sans déclanche, nous avons tracé la courbe du tiroir pour la marche arrière, afin de vérifier si, lors de cette marche, l'organe de détente donne des avances et des introductions suffisantes. Lorsque le piston est à un de ses points morts, le point de départ des courbes est évidemment le même pour la marche arrière et pour la marche avant, puisque le tiroir a la même régulation pour les deux sens de rotation. La seule différence consiste dans la direction de marche des courbes de détente, qui est changée. — Les rencontres de ces courbes de détente, en allant de droite à gauche, avec la courbe du tiroir pour la marche arrière, donnent les moments d'ouverture

et de fermeture des orifices. Pour le bas, par exemple, l'introduction commence aux points *a* ou *a'*, suivant la grandeur de la course de l'organe de détente, ce qui donne des avances plus que suffisantes. La fermeture de l'introduction du bas se fait aux points *b* ou *b'*, très-près du point mort haut du piston. Pour le haut du cylindre, l'introduction commence aux points *c* ou *c'*, bien avant le point mort, et finit aux points *d* ou *d'*, très-près du point mort bas. — Par suite, l'organe de détente ne gêne pas pour la marche en arrière, et n'a pas besoin d'être déclanché.

Chap. V, § 3. — Couples de rotation.

N° 71. — 1. De la détermination rigoureuse du couple de rotation d'une machine en marche. — 2. Détermination pratique du couple de rotation d'une machine. — 3. Couples de rotation des divers systèmes et types de machines en usage dans la marine ; comparaison des résultats obtenus. — 4. Couple moteur de départ d'une machine. Détermination des positions défavorables à la mise en marche.

N° 71_1 De la détermination rigoureuse du couple de rotation d'une machine en marche. — La poussée ou la traction transmise par la tige du piston est transformée, par la bielle et la manivelle, en une force tangentielle à la circonférence décrite par le bouton de manivelle et qui fait tourner l'arbre. L'ensemble des valeurs de cette force tangentielle forme ce que l'on appelle le couple de rotation. Lorsque l'arbre a plusieurs manivelles, le couple de rotation de la machine est formé par la somme des forces tangentielles qui agissent simultanément sur les manivelles.

Soit ABO, *fig.* 62, la transmission de mouvement par bielle et manivelle, et prenons ce système de transmission dans une position quelconque. Si nous considérons le système à l'état d'équilibre statique, nous aurons au pied A de la bielle, trois forces telles que chacune d'elles sera égale et directement opposée à la résultante des deux autres, savoir :

1° La poussée P_1 transmise par la tige de piston ;

2° La résistance P que la machine oppose au mouvement de la bielle, et suivant l'axe même de cette pièce ;

3° La réaction P' de la glissière sur laquelle s'appuie le coulisseau de la traverse.

En marche, la condition d'équilibre doit être considérée au point de vue du travail. La force P_1 étant seule force motrice, son travail doit être égal à la somme des travaux résistants ; ces derniers sont :

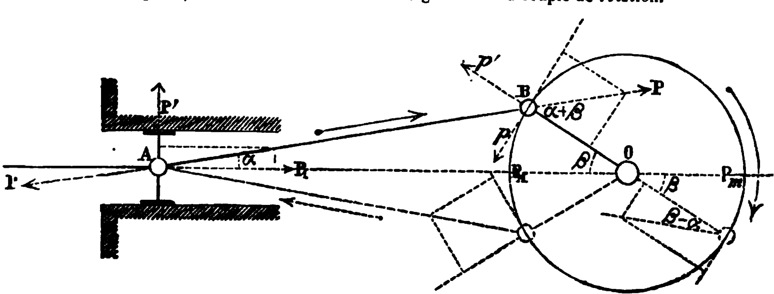
1° Le travail du frottement fP_1, ce frottement étant déterminé par la force P_1 elle-même sur le tourillon du pied de bielle ; cette force agit à l'extrémité du rayon *r* de ce tourillon ;

2° Le travail du frottement fP' sur la glissière ;

3° **Le travail** de la réaction P suivant la bielle.

Exprimée en fonction de P, la force P' a pour valeur $P' = P \sin \alpha$. D'autre part, supposons que l'angle β augmente d'une quantité infiniment petite *b*, pendant laquelle augmentation on pourra considérer les forces en jeu comme constantes ; on pourra calculer la variation correspondante *a* de l'angle α*, ainsi que le chemin *e* fait par le pied de bielle le long de la glissière, qui correspond

Fig. 62, relative à la détermination rigoureuse du couple de rotation.



à l'augmentation de l'angle β**. Ces valeurs connues, *e* sera le chemin fait par la force P_1 ainsi que par le frottement *f*P'; *e* cos α sera le chemin fait suivant la direction de la force P ; enfin, $\frac{2 \pi r a}{360}$ sera le chemin fait sur le tourillon du pied de bielle par le frottement fP_1. — Connaissant les valeurs des forces et des chemins parcourus dans leurs directions propres, on pourra établir l'équation du travail et déterminer la valeur de P en fonction de P_1.

La force P connue, on a sur le bouton B de la manivelle trois forces telles, qu'en équilibre statique chacune d'elles est égale et directement opposée à la résultante des deux autres, savoir :

1° La force P transmise par la bielle ;

---

* On a la relation : $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\text{manivelle}}{\text{bielle}} = \frac{1}{m}$, d'où $\sin \alpha = \frac{\sin \beta}{m}$.
Il suffit de remplacer β par $(\beta + b)$, et on déterminera la valve α' correspondante ; on aura ensuite $a = \pm \alpha' \mp \alpha$, suivant que α augmente ou diminue.

** En appelant *x* le chemin fait par le pied de bielle depuis le dernier point mort, R le rayon de la manivelle, et *m* le rapport de la bielle à la manivelle, on a :

$$x = R\,[1 - \cos \beta \pm m\,(1 - \cos \alpha)];$$

le signe + servant pour la course majeure de P^M à P_m, et le signe — pour la course mineure de P_m à P .

En calculant d'abord la valeur de *x* pour la position choisie de la manivelle, et en remplaçant ensuite β par $(\beta + b)$, et α par $(\alpha + a)$, valeur préalablement déterminée, on trouvera la valeur correspondante *x'* de la distance du pied de bielle au point mort. On aura alors : $e = x' - x$. — Mais il n'est pas nécessaire de calculer cette valeur, parce que *e* s'élimine en établissant l'équation du travail.

2° La résistance à la rotation p, agissant normalement à la manivelle ;

3° La réaction p' des appuis de l'arbre.

Dans ces conditions, on a :

$$p = P \sin(\alpha + \beta), \qquad p' = P \cos(\alpha + \beta).$$

Ces valeurs pourraient servir pour l'autre demi-révolution, en comptant toujours l'angle β à partir du point mort majeur P_M ; mais, si l'on veut compter l'angle β à partir du dernier point mort franchi, on aura pour la course mineure :

$$p = P \sin(\beta - \alpha), \qquad p' = P \cos(\beta - \alpha).$$

Et en général :

$$p = P \sin(\beta \pm \alpha), \qquad p' = P \cos(\beta \pm \alpha) ;$$

les signes supérieurs servant pour la course majeure, de P_M à P_m, et les signes inférieurs pour la course mineure, de P_m à P_M, l'angle β étant mesuré depuis le dernier point mort.

En considérant le système en mouvement, nous aurons à faire entrer en ligne de compte les travaux suivants :

1° Le travail de la puissance P qui agit suivant la bielle ;

2° Le travail du frottement fP déterminé par la force P sur le tourillon de la manivelle, et qui fait un travail résistant à l'extrémité du rayon r' du bouton de manivelle ;

3° Le travail du frottement fp' sur les portées de l'arbre, qui fait aussi un travail résistant à l'extrémité du rayon r'' de la portée de l'arbre ;

4° Le travail de la résistance directe p à la rotation.

Comme les tourillons de la manivelle et de l'arbre tournent en même temps que la manivelle et du même angle, les frottements fP et fp', qui agissent à l'extrémité des rayons r' et r'', peuvent être transportés à l'extrémité du rayon R de la manivelle, où ils prennent les valeurs :

$$fP\frac{r'}{R}, \quad \text{et} \quad fp'\frac{r''}{R} = fP \cos(\beta \pm \alpha)\frac{r''}{R}.$$

Cela dit, si l'on représente par e' le chemin parcouru sur la circonférence de la manivelle pour une augmentation infiniment petite b de l'angle β, le chemin fait dans la direction de la bielle et par suite de la force P vaudra :

$$e' \cos[90° - (\beta \pm \alpha)] = e' \sin(\beta \pm \alpha).$$

Les forces P, $fP\frac{r'}{R}$ et $fP \cos(\beta \pm \alpha)\frac{r''}{R}$, parcourant le même chemin e', l'équation du travail est par suite facile à établir, et on en déduira la valeur de p en fonction de P et par suite de P_1.

Si l'on partage la circonférence décrite par la manivelle en un certain nombre de parties égales, et que l'on détermine la valeur de p pour chacun des points de division, on aura le moyen de construire la courbe qui représente le couple

de rotation pour un tour complet de la machine, en ajoutant d'ailleurs les valeurs de p qui correspondent aux positions simultanées de toutes les manivelles montées sur le même arbre.

Pour que le calcul précédent soit fait avec toute l'exactitude désirable, il faut encore tenir compte de l'une ou de plusieurs des influences suivantes :

I. L'inertie des pièces qui participent au mouvement rectiligne alternatif du piston : piston, tiges, traverses et bielles, et, dans certains cas, piston de pompe à air que le piston moteur conduit. Cette inertie se retranche de la poussée effective totale de la vapeur sur le piston tant que le mouvement de ce dernier s'accélère, et s'ajoute à cette même poussée quand le mouvement du piston se ralentit (n° 71_2).

II. Si la machine est à pilon, le poids des pièces qui marchent avec le piston s'ajoute à la poussée effective totale de la vapeur pendant la course montante (de P_M à P_m), et se retranche de cette même poussée effective pendant la course descendante (de P_m à P_M). Cette modification de la poussée effective totale sur les pistons est indépendante de l'influence de l'inertie.

Toutefois, dans la plupart des machines à pilon, la pompe à air est conduite par la tige du piston moteur, à l'aide d'une transmission qui comprend un double balancier et deux paires de menottes. La pompe à air est aspirante élévatoire, et l'on peut admettre que pour la course montante du piston moteur, le poids de ce piston et de tout son attelage est équilibré par le poids du piston de la pompe à air et la résistance de cette pompe. — Il n'en est pas de même pour la course descendante du piston moteur, car la résistance de la pompe à air annule presque complétement le poids du piston de cette pompe, et l'action du poids du piston moteur et de son attelage reste entière.

III. Si la machine est inclinée, une partie seulement des poids ci-dessus s'ajoute à la poussée effective de la vapeur et s'en retranche alternativement. Cette poussée se détermine par une simple décomposition de forces, en tenant compte de l'obliquité de l'axe du cylindre.

IV. Si la machine est horizontale, le poids des pièces mobiles n'influe pas sur la valeur de la poussée sur les pistons ; le poids de la bielle et de la manivelle a seul une action sur les valeurs des forces P' et p' qui déterminent les frottements sur les appuis. Pour tenir compte de ce poids, il faut chercher, pour chaque position de la manivelle, le centre de gravité du système articulé, et déterminer les deux composantes qui résultent de ce poids, l'une au pied de bielle, l'autre sur l'arbre. La première s'ajoute toujours directement à la force P' ; la seconde se compose avec la force p', et la résultante est seule à prendre en considération.

V. Dans un grand nombre de machines horizontales, le piston moteur conduit la pompe à air du condenseur correspondant. Cette pompe à air offre par suite une résistance dont il faut tenir compte, en relevant des courbes d'indicateur sur la pompe à air, et en retranchant les ordonnées de ces courbes de celles des courbes du piston moteur, après les avoir toutefois réduites dans le rapport du carré du diamètre de la pompe à air au carré du diamètre du cylindre à vapeur. — On devrait opérer de même, si le piston moteur conduisait une pompe de circulation.

VI. Enfin, les frottements du piston dans le cylindre et des tiges dans leur presse-étoupe sont des forces dont le travail résistant devrait être retranché du travail moteur sur le piston pour obtenir, en tenant compte de ce qui est dit ci-dessus, la véritable valeur de la force P_1 transmise par les tiges.

On peut voir que la résolution rigoureuse du problème de la détermination du couple de rotation d'une machine, problème que nous n'avons fait qu'esquisser, ne laisse pas que d'être longue et laborieuse. Aussi, en pratique, ne résout-on presque jamais ce problème. Ce que l'on cherche, le plus souvent, ce n'est pas la valeur absolue du couple de rotation, mais bien des valeurs comparables pour les couples des machines de divers systèmes. Dans cet ordre d'idées, et tant que les rapports de la longueur de la bielle à celle de la manivelle ne varient pas beaucoup, on fait abstraction de toutes les résistances passives de la transmission de mouvement, et l'on se contente de poser que pour chaque élément de chemin parcouru par le piston le travail moteur est égal au travail de la résistance appliquée à l'extrémité de la manivelle, d'où on déduit la valeur de cette résistance. C'est la méthode que nous avons employée pour calculer les couples de rotation dont il est question au numéro suivant.

N° 71_2 Détermination pratique du couple de rotation d'une machine. — D'après ce que nous venons de voir au numéro précédent, il est extrêmement difficile de calculer rigoureusement la valeur du couple de rotation d'une machine. On ne peut même pas tenir compte de toutes les influences en jeu, car il est impossible d'évaluer les frottements du piston dans son cylindre et des tiges dans leur presse-étoupe. — Dans les machines marines, le rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle varie de 3,8 à 4, et atteint 4,6 et même 4,8 dans les nouveaux appareils. Dans ces conditions, les obliquités des bielles sont très-peu différentes, et pour une force déterminée transmise par la tige de piston les résistances passives restent dans un rapport à peu près constant. Pour établir des couples de rotation comparatifs, on peut par suite, dans le calcul des efforts, faire abstraction des résistances passives, et ne considérer que la force motrice transmise par la tige de piston et la résistance correspondante appliquée à l'extrémité de la manivelle et normalement à cette dernière. On écrira alors, *fig.* 63, travail p = travail P.

Il y a deux manières de procéder pour calculer la force p en fonction de P

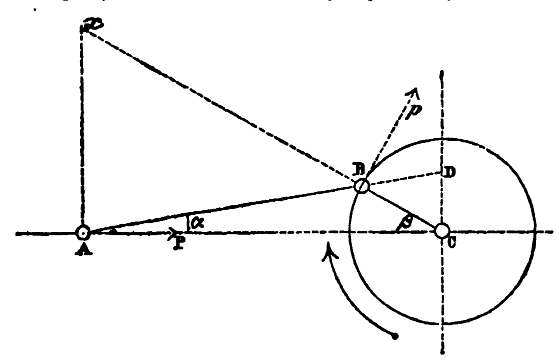
1° Soient :

V la vitesse linéaire de la manivelle, supposée constante.
β l'angle de position de la manivelle, cet angle étant compté à partir du dernier point mort franchi.
R le rayon de la manivelle.

m **le rapport** de la bielle à la manivelle.
v **la vitesse** du pied de bielle pour la position donnée de la manivelle.

Le point de rencontre x de la manivelle CB prolongée, et de la normale Ax

Fig. 63, relative à la détermination pratique du couple de rotation.



à la glissière menée par le pied de bielle, est le centre instantané de rotation des deux extrémités de la bielle, et l'on a :

$$\frac{v}{V} = \frac{xA}{xB}; \quad \text{d'où : } v = V \times \frac{xA}{xB}.$$

Mais les deux triangles semblables AxB et BCD donnent :

$$\frac{xA}{xB} = \frac{CD}{CB} = \frac{CD}{R}; \quad \text{d'où : } v = V \times \frac{CD}{R}.$$

On pourra, par suite, écrire l'équation du travail, sans tenir compte des résistances passives :

$$Pv = pV = PV \times \frac{CD}{R}; \text{ d'où : } p = P \times \frac{CD}{R}.$$

La valeur de CD pourra être mesurée graphiquement, et la valeur de p se trouvera par une quatrième proportionnelle.

Si l'on veut opérer par le calcul, on a :

$$CD = AD \sin\alpha; \quad \text{mais } \sin\alpha = \frac{\sin\beta}{m}; \text{ d'où : } CD = \frac{AD \sin\beta}{m}.$$

Or,
$$AD = AB + DB = mR + DB;$$

d'autre part,
$$\frac{DB}{CB} = \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}; \text{ d'où : } DB = R\frac{\cos\beta}{\cos\alpha}.$$

Remplaçons, il vient :

$$AD = mR + R\frac{\cos\beta}{\cos\alpha} = R\left(m + \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}\right).$$

Par suite :

$$CD = \frac{R \sin\beta}{m}\left(m + \frac{\cos\beta}{\cos\alpha}\right).$$

Remplaçons $\cos\alpha$ par $\sqrt{1-\sin^2\alpha}$, et $\sin\alpha$ par $\frac{\sin\beta}{m}$, il vient:

$$\text{Cos}\,\alpha = \sqrt{1 - \frac{\sin^2\beta}{m^2}} = \frac{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}{m}.$$

Par suite :

$$CD = \frac{R \sin\beta}{m}\left(m + \frac{m \cos\beta}{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}\right);$$

ou bien :

$$CD = R \sin\beta\left(1 + \frac{\cos\beta}{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}\right)$$

Il viendra alors pour la course majeure, de P_M à P_m :

$$v = V \sin\beta\left(1 + \frac{\text{Cos}\,\beta}{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}\right).$$

On trouve une relation semblable pour la course mineure, de P_m à P_M; et en général :

$$v = V \sin\beta\left(1 \pm \frac{\cos\beta}{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}\right).$$

On pourra donc écrire pour un point quelconque de la rotation :

$$Pv = pV, \quad \text{d'où : } p = \frac{Pv}{V};$$

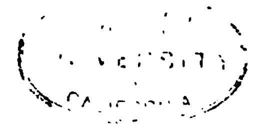
ou bien :

$$p = P \sin\beta\left(1 \pm \frac{\cos\beta}{\sqrt{m^2 - \sin^2\beta}}\right).$$

Le signe + servant pour la course majeure et le signe — pour la course mineure ; l'angle β ayant toujours pour origine le dernier point mort franchi.

2° La valeur de p peut être déterminée d'une manière moins rigoureuse, mais plus pratique, et de la façon suivante. La circonférence étant partagée en parties égales, 20, par exemple, on cherche les chemins parcourus par le pied de bielle et correspondant à chacune des divisions; on mesure la valeur de P qui correspond au milieu de chacun de ces chemins, et on établit l'égalité entre le produit de ces deux éléments du travail de la poussée P et le produit de la force p par l'arc correspondant de la circonférence. On trouve ainsi une valeur suffisamment approchée de p, qui correspond au milieu de l'arc de division considéré de la circonférence.

Cela dit, nous allons expliquer le mode de procéder pour déterminer la valeur de P sur une machine donnée. Nous prendrons pour exemple l'appareil du *Henri IV*, qui est une machine compound à pilon, à une paire de cylindres



côte à côte points morts à 90°. Sur la *fig.* 16, *pl.* IX, sont représentées, en trait fin continu, les courbes d'indicateur relevées sur les cylindres de cette machine. Ces courbes sont réduites à l'échelle de 0mm,25 par centimètre de mercure ; mais pour le cylindre admetteur les courbes sont de plus réduites dans le rapport $\frac{d^2}{D^2}$ des carrés des diamètres des cylindres. Cette opération nous a dispensé de calculer les poussées en kilogrammes, et ce sont les ordonnées effectives elles-mêmes que nous avons prises pour représenter la valeur de P.

Une première correction a été effectuée sur les courbes d'indicateur, en portant les lignes d'évacuation du bas sous les courbes du haut et inversement. Cette correction est nécessaire pour que l'on mesure entre les deux courbes l'effort effectif réel.

En second lieu, les courbes ont été corrigées de l'inertie des pièces mobiles, cette inertie étant calculée par la relation :

$$F^{kg} = -\frac{P}{2g}\Omega^2 R \left(\cos\beta \pm \frac{m^2\cos 2\beta + \sin^4\beta}{(m^2 - \sin^2\beta)^{3/2}}\right),$$

dans laquelle les lettres ont la signification suivante :

F^{kg} force d'inertie. Le signe résultant du calcul indique si cette force doit être retranchée ou ajoutée.
P^{kg} poids des pièces mobiles.
Ω vitesse angulaire de la manivelle.
R rayon de la manivelle.
m rapport de la bielle à la manivelle.
β angle de position de la manivelle. Cet angle est compté du dernier point mort franchi. Le signe + sert pour la course majeure (qui est ici la course montante) et le signe — sert pour la course mineure. La valeur de F n'a d'ailleurs besoin d'être calculée que pour une course ; pour la course suivante, les valeurs de cette force sont égales et de signes contraires aux valeurs qui correspondent aux positions symétriques de la manivelle par rapport au diamètre des points morts.

La circonférence ayant été partagée en 20 parties égales, la valeur de F a été calculée pour chaque point de division. Cette valeur a été ensuite divisée, pour chaque cylindre, par la surface $10.000\,\pi\,\frac{D^2}{4}$ du piston du cylindre détendeur, cette surface étant exprimée en centimètres carrés. L'effort ainsi trouvé, correspondant à un centimètre carré, a été transformé en centimètres de mercure, et finalement en millimètres, d'après l'échelle des courbes d'indicateur, en le multipliant par le facteur $\frac{0^{mm},25 \times 76}{1,033}$. Les résultats ont servi à tracer les courbes d'inertie placées sous les courbes d'indicateur. Les valeurs négatives, et par suite à retrancher, ont été portées en dessous de la base, et les valeurs positives ou à ajouter en dessus. Les courbes d'indicateur modifiées par l'inertie ont leur partie supérieure tracée en éléments.

Comme la machine est à pilon, le poids des pièces mobiles s'ajoute à la poussée de la vapeur pendant la course montante, de P_M à P_m, et se retranche

de cette poussée pendant la course descendante, de P_m à P_M. Le poids P^{ts} de ces pièces, pour chaque cylindre, a été divisé par la surface du piston du cylindre détendeur, $10.000 \frac{\pi D^2}{4}$, cette surface étant exprimée en centimètres carrés. Cet effort par centimètre carré a ensuite été transformé en centimètres de mercure, et finalement en millimètres, d'après l'échelle des courbes d'indicateur, en le multipliant par le facteur $\frac{0^{mm},25 \times 76}{1,033}$. Le résultat, qui reste constant pour toute la course, a été porté en augmentation sur les ordonnées des courbes du bas, et en diminution sur les ordonnées des courbes du haut. On a ainsi obtenu les diagrammes limités par des traits de force, et dont les ordonnées ont servi à déterminer le couple de rotation.

Après avoir partagé la circonférence des manivelles en 20 parties égales à partir du point mort majeur P_M, on a mesuré, sur la course du pied de bielle, le chemin correspondant à chacune des divisions, et les ordonnées des courbes que l'on a employées ont été menées par le milieu de ces divisions. On a fait le produit de chaque ordonnée effective par le chemin correspondant du pied de bielle, et on a divisé par la valeur constante d'une division de la circonférence. Le résultat, qui représente la valeur de la force tangentielle, a été porté, à partir du centre, sur le rayon qui partage l'arc de division correspondant en deux parties égales.

Cette opération étant faite pour les deux cylindres, on a obtenu les couples individuels de rotation, dont la somme doit former le couple total. Les divisions de la circonférence du cylindre détendeur, étant numérotées à partir de la position qu'occupe la manivelle de ce cylindre quand celle du cylindre admetteur est au point mort majeur P_M, on a formé le couple total en ajoutant les valeurs comprises entre les mêmes numéros. Ce couple total est reporté en *fig.* 64 ci-après.

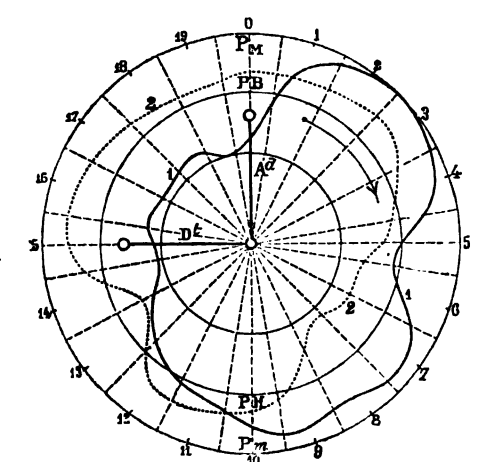
N° 71_3 Couples de rotation des divers systèmes et types de machines en usage dans la marine. Comparaison des résultats obtenus. — Les *fig.* 64 à 73 représentent les couples de rotation des divers systèmes et types de machines en usage dans la marine. Dans la construction de ces couples, nous n'avons pas tenu compte de l'action de la pompe à air ni de celle de la pompe de circulation quand elle est conduite par la machine. Nous avons ainsi obtenu des couples comparables au point de vue du mode d'emploi de la vapeur et du système de transmission de mouvement. Nous indiquerons en temps et lieu l'influence de la motion de la pompe à air ou de la pompe de circulation sur le couple de rotation obtenu.

Henri IV, *fig.* 64. —*Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à 90°, avec condensation par surface (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 28_1).

Puissance en chevaux de 300^{km}		150^{ch}
Diamètre du cylindre admetteur		0^m,800
Diamètre du cylindre détendeur		1^m,400
Course des pistons		0^m,900
Nombre de tours par minute		66^t,33
Introduction aux cylindres	admetteur	0,50
	détendeur	0,70
Introduction effective		0,16
Pression absolue aux chaudières		4^{at},00
Poids des pièces mobiles	cylindre admetteur	1.155^{kg}
	cylindre détendeur	1.847^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle.		3,80
Charbon consommé par cheval et par heure		0^{kg},900
Rapport du couple maximum au couple moyen		1,390
Rapport du couple minimum au couple moyen		0,587

La détermination de ce couple de rotation est expliquée au n° 71_2. La valeur **moyenne de** ce couple est représentée par 20^{mm}. La courbe 2, tracée en points **ronds, représente** le couple de **rotation** pour la même machine mise à plat, c'est-à-dire ayant les cylindres horizontaux. — La pompe à air, aspirante élévatoire, est conduite par un balancier actionné par la tige de piston du cylindre admetteur. Cette pompe fait surtout résistance sur la fin de la course montante, et tend à diminuer le couple de rotation entre les divisions 8 et 10 de la circonférence ; mais son effet est peu sensible en raison du faible bras de levier du piston moteur. La pompe de circulation, qui est à double effet, est conduite par le balancier de la pompe à air ; son action tend à diminuer le couple de rotation pendant toute la durée de la révolution, sauf aux deux points morts du cylindre admetteur ; son maximum d'effet se fait sentir vers les demi-courses du piston, aux divisions 5 et 15, parce qu'elle agit alors sur le plus grand bras de levier.

Fig. 64. Couple de rotation du *Henri IV*.



Le couple de rotation 1 du *Henri IV* est loin d'être régulier ; sa valeur est considérable pendant la course montante du piston du cylindre admetteur, tandis qu'elle est faible pendant la course descendante de ce piston. Le couple 2, tracé pour le cas où la machine serait horizontale, est meilleur ; la différence entre la valeur maximum et la valeur minimum est moindre que lorsque la machine est à pilon, mais cette différence est encore considérable. Les irrégularités du couple de rotation proviennent, d'abord de ce que la détente est très-prolongée, puisque l'introduction effective vaut seulement 0,16, et ensuite de

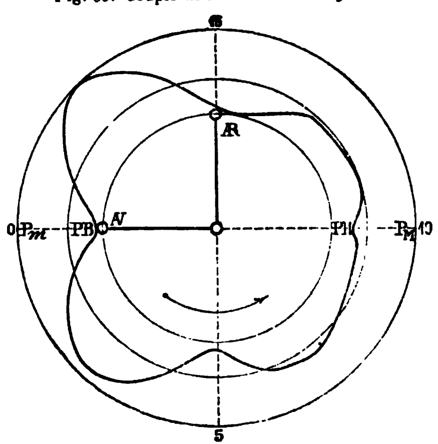
l'influence de l'inertie et du poids des pièces. Au point de vue du mode d'emploi de la vapeur, ce couple ne pourrait être comparé qu'à celui d'une machine à un seul cylindre fonctionnant à 0,16 d'introduction. Or, le couple d'une pareille machine serait nul aux deux points morts; sa valeur serait maximum vers 45° après les points morts, et viendrait ensuite en diminuant rapidement jusqu'au point mort suivant. Ce couple serait par suite beaucoup moins régulier que celui de la machine Woolf qui nous occupe.

Guyenne, *fig.* 65. — ***Machine ordinaire, horizontale à bielle en retour à deux cylindres points morts à*** 90°, ***avec condensation par mélange*** (*à hélice*), ***type des Chantiers et ateliers de l'Océan*** (n° 124₁ du *Gd Traité*).

Puissance en chevaux de 300km	900ch
Diamètre des cylindres	2m,10
Course des pistons	1m,30
Nombre de tours par minute	47t,00
Introduction aux cylindres	0,55
Pression absolue aux chaudières	2at,75
Poids des pièces mobiles pour chacun des cylindres	13.500kg
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle	4,00
Charbon consommé par cheval et par heure	2kg,25
Rapport du couple maximum au couple moyen	1,26
Rapport du couple minimum au couple moyen	0,78

Les cylindres étant égaux et horizontaux, les courbes d'indicateur, après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, n'ont été corrigées que de l'effort d'inertie correspondant au poids des pièces mobiles. Le couple total, *fig.* 65, dont la valeur moyenne est représentée par 20mm, est la somme des deux couples individuels correspondant à chacun des cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle du cylindre avant a été prise pour index. — Les pompes à air, à double effet, sont conduites directement par les pistons moteurs. Leur action, qui se fait surtout sentir aux fins de course, doit diminuer un peu le couple de rotation en avant des points morts du cylindre avant et un peu avant les demi-courses du piston de ce cylindre. La résistance des pompes à air peut avoir une influence sensible, parce que, la condensation s'effectuant

Fig. 65. Couple de rotation de la *Guyenne*.



par **mélange**, la valeur maximum de cette résistance se fait sentir pendant les deux derniers dixièmes de la course environ.

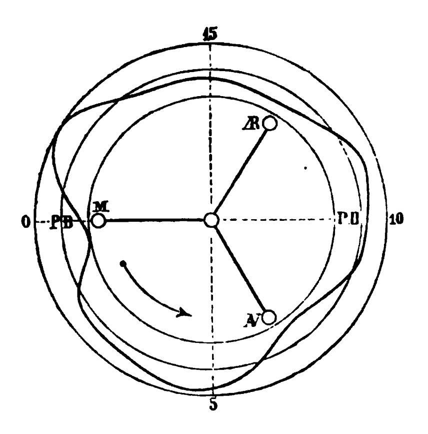
La *Guyenne* possède deux cylindres indépendants dont les manivelles sont calées à 90° ; l'introduction vaut 0,55 de la course ; la détente est, par suite, loin d'être considérable : aussi le couple de rotation est-il assez régulier. Il y a d'ailleurs quatre périodes de mouvement par tour ; ces périodes ont sensiblement même durée ; mais il n'en est pas de même des accélérations. Les accélérations maximum ont lieu vers 45° avant et après le point mort bas de la manivelle du cylindre avant.

Gauloise, *fig.* 66. — *Machine ordinaire, horizontale à bielle en retour à trois cylindres points morts à* 120°, *avec condensation par mélange (à hélice), type des Chantiers et ateliers de l'Océan* (n° 25_1).

Puissance en chevaux de 300^{km}	900^{ch}
Diamètre des cylindres	2^m,10
Course des pistons	1^m,30
Nombre de tours par minute.	50^t,00
Introduction aux trois cylindres	0,40
Pression absolue aux chaudières.	2^{at},31
Poids des pièces mobiles pour chaque cylindre.	11.500^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle.	3,80
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure. . .	1^{kg},371
Rapport du couple maximum au couple moyen	1,17
Rapport du couple minimum au couple moyen	0,84

Les cylindres étant égaux et horizontaux, les courbes d'indicateur, après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, n'ont été corrigées que de l'effort d'inertie correspondant au poids des pièces mobiles. Le couple total, *fig.* 66, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacun des trois cylindres, et en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle du cylindre milieu a été prise pour index. — Chaque piston de cylindre détendeur conduit une pompe à air à double effet, dont l'action se fait sentir principalement pendant les deux derniers dixièmes de la course, parce que la condensation se fait par mélange. Il en résulte une diminution du couple de rotation, qui est surtout sensible un peu après les points morts du cylindre milieu et un peu après la demi-course du piston de ce cylindre.

Fig. 66. Couple de rotation de la *Gauloise*.



La *Gauloise* possède trois cylindres indépendants; l'introduction est de 0,40. Dans ces conditions, le couple de rotation doit être très-régulier; c'est en effet ce qui a lieu. Au surplus, il doit y avoir six périodes de mouvement par tour, parce que, en partant de la position des manivelles sur la *fig.* 66, il arrive que ces manivelles, tout en ayant permuté, occupent après chaque arc de rotation de 120° les mêmes positions respectives; d'autre part, si l'on compte l'arc de 120° après avoir fait subir aux manivelles un déplacement de 60°, on trouve également sur la rotation complète trois positions pour lesquelles les manivelles sont semblablement placées. Les six périodes de mouvement n'ont pas une égale durée et ne sont pas d'ailleurs nettement marquées, à cause de l'obliquité des bielles et de l'emploi de la détente.

Avec un couple de rotation comme celui de la *Gauloise*, la machine peut fonctionner sans danger à une grande vitesse de rotation; d'autre part, le nombre minimum de tours auquel la machine peut fonctionner sans s'arrêter doit être très-faible, pourvu qu'on diminue la vitesse par l'étranglement du registre, au lieu d'augmenter la détente. C'est en effet ce que l'expérience confirme, car les machines de cette espèce fonctionnent régulièrement à 9 et même 8 tours par minute, sans aucune hésitation au passage des points morts.

Savoie, *fig.* 67. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 120°, avec condensation par mélange (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 30_3).

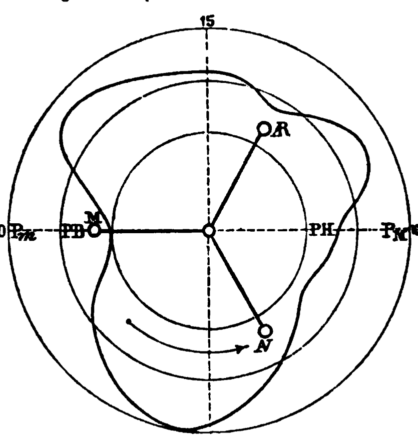
Puissance en chevaux de 300^{km}		900^{ch}
Diamètre des cylindres		2^m,10
Course des pistons		1^m,30
Nombre de tours par minute		49^t,60
Introduction aux cylindres	admetteur	0,81
	détendeurs	0,77
Introduction effective		0,405
Pression absolue aux chaudières		3^{at},00
Poids des pièces mobiles pour chaque cylindre		12.500^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		3,80
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure		1^{kg},417
Rapport du couple maximum au couple moyen		1,33
Rapport du couple minimum au couple moyen		0,65

Les cylindres étant égaux et horizontaux, les courbes d'indicateur, après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, n'ont été corrigées que de l'effort d'inertie correspondant au poids des pièces mobiles. Le couple total, *fig.* 67, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacun des trois cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle du cylindre admetteur a été prise pour index. — Chaque piston de cylindre détendeur conduit une pompe à air à double effet; la condensation ayant lieu par mélange, l'action de chaque pompe à air se fait principalement sentir pendant les deux derniers dixièmes de la course du piston moteur correspondant. Il en résulte une diminution du couple de rotation, qui est surtout sensible un peu

après les points morts du cylindre admetteur et un peu après les demi-courses du piston de ce cylindre.

La machine Woolf de la *Savoie*, dont les trois manivelles sont calées à 120°, fonctionne à 0,40 d'introduction comme la machine de la *Gauloise*; mais le couple de rotation est loin d'être aussi régulier. Sur la *Savoie*, le cylindre admetteur, celui du milieu, fait beaucoup plus de travail que chacun des cylindres détendeurs; aussi son influence est-elle dominante. En effet, c'est aux points morts du cylindre admetteur, ou aux environs, que le couple de rotation est minimum, tandis que c'est vers la demi-course du piston de ce cylindre que le couple de rotation atteint sa valeur maximum. L'écart entre le travail du cylindre admetteur et le travail de chacun des cylindres détendeurs augmente à mesure que la vitesse diminue : aussi, le couple de rotation est encore plus irrégulier aux allures réduites qu'aux grandes vitesses; le nombre minimum de tours auquel on peut descendre avec un fonctionnement régulier n'est pas inférieur à 15, et la machine s'arrête le plus souvent au point mort bas du piston du cylindre admetteur, alors que le couple de rotation est minimum. — On peut corriger ce défaut en ouvrant la soupape d'introduction directe dans les cylindres détendeurs, lorsqu'on veut marcher le plus doucement possible. On arrive ainsi à annuler complétement le cylindre admetteur ou à peu près, et le nombre de tours peut être réduit jusqu'à 12 ou 11, le fonctionnement restant régulier, les points morts étant franchis sans trop d'hésitation.

Fig. 67. Couple de rotation de la *Savoie*.

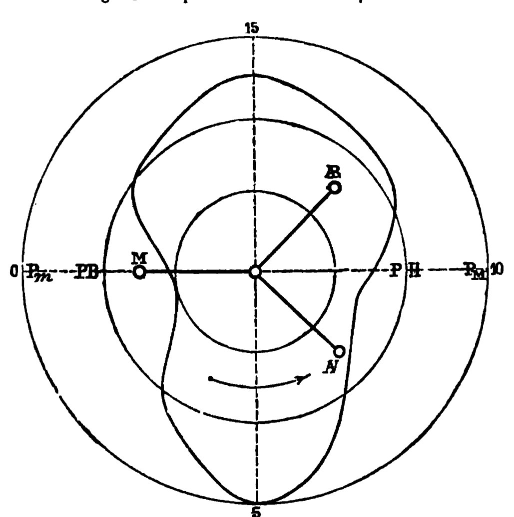


Infernet, *fig.* 68. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à* 90° *et* 135°, *avec condensation par surface* (*à hélice*), *type d'Indret* (n° 29_2).

Puissance en chevaux de 300^{km}	450^{ch}
Diamètre des cylindres	1^m,450
Course des pistons	0^m,800
Nombre de tours par minute	95^t,41
Introduction aux cylindres { admetteur	0,66
Introduction aux cylindres { détendeurs	0,66
Introduction effective	0,33
Pression absolue aux chaudières	3^{at},18
Poids des pièces mobiles pour chacun des trois cylindres	3.800^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle	4,00
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure	1^{kg},061
Rapport du couple maximum au couple moyen	1,560
Rapport du couple minimum au couple moyen	0,545

Les cylindres étant égaux et horizontaux, les courbes d'indicateur, après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, n'ont été corrigées que de l'effort d'inertie correspondant au poids des pièces mobiles. Le couple total, *fig.* 68, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacun des trois cylindres, en tenant compte des positions relatives des manivelles. La manivelle du cylindre admetteur a été prise pour index. — Le piston du cylindre détendeur avant et celui du cylindre admetteur conduisent chacun une pompe à air à double effet; mais, comme la condensation s'effectue par surface, le refoulement dans la bâche n'a lieu que vers la fin de course de ces pistons, et l'action des pompes à air ne doit pas influer notablement sur le couple de rotation. La pompe de circulation est conduite par le piston du cylindre détendeur arrière; cette pompe est à double effet, et son action se fait sentir pendant toute la durée de la course. L'influence de cette action sur le couple de rotation doit être surtout sensible vers la demi-course, alors qu'elle agit sur l'arbre avec le plus grand bras de levier. Le couple de rotation doit, par suite, être diminué pendant toute la durée de la rotation, sauf aux deux points morts du cylindre arrière. Cette diminution, nulle quand la manivelle du cylindre milieu est en avant de ses points morts de 45°, atteint son maximum lorsque cette manivelle du cylindre milieu a franchi son point mort de 45°.

Fig. 68. Couple de rotation de l'*Infernet*.



Pour l'*Infernet*, dont la machine à trois cylindres fonctionne au Woolf, mais dont les manivelles des cylindres détendeurs sont calées à 90°, le couple de rotation est encore plus irrégulier que sur la *Savoie*, et il n'y a que deux périodes de mouvement par tour, comme si la machine était à un seul cylindre (le cylindre admetteur dont l'action est prépondérante), mais avec la différence que le couple de rotation n'est jamais nul. Cet effet est encore plus sensible aux vitesses réduites : aussi ne peut-on guère descendre au-dessous de 17 ou 16 tours avec un fonctionnement régulier, et encore y a-t-il, à cette allure, des hésitations très-marquées aux passages de la manivelle du cylindre milieu à ses points morts ; finalement, c'est toujours à ces points morts, et principalement au point mort bas, que la machine s'arrête. On peut encore, comme pour la *Savoie*, corriger ce défaut en ouvrant légèrement la valve d'introduction directe

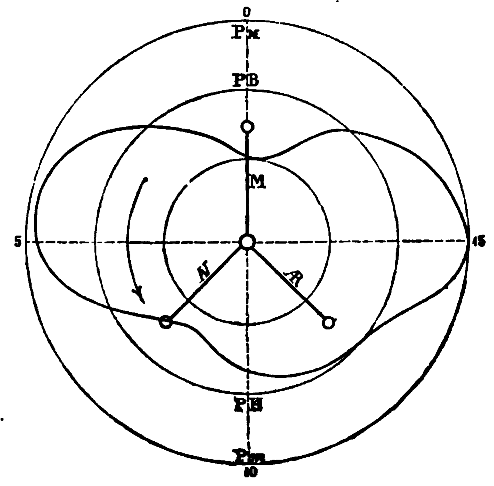
dans les cylindres détendeurs, ce qui a pour effet d'annuler, ou tout au moins de diminuer notablement l'action du cylindre admetteur.

Iraouaddy, *fig.* 69. — *Machine Woolf, à pilon à trois cylindres côte à côte points morts à* 90° *et* 135°, *avec condensation par surface (à hélice), type de La Ciotat* (n° 28_{12}).

Puissance en chevaux de 300^{km}		600^{ch}
Diamètre des cylindres	admetteur	1^m,100
	détendeurs	1^m,530
Course des pistons		1^m,100
Nombre de tours par minute		73^t,50
Introduction aux cylindres	admetteur	0,475
	détendeurs	0,600
Pression absolue aux chaudières		5^{at},80
Introduction effective		0,123
Poids des pièces mobiles	pour le cylindre admetteur	4.000^{kg}
	pour chacun des cylindres détendeurs	5.000^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		4,00
Rapport du couple maximum au couple moyen		1,45
Rapport du couple minimum au couple moyen		0,55

Les pistons ont même course, mais la section du cylindre admetteur est plus petite que celles des cylindres détendeurs. Après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, les courbes d'indicateur ont été réduites dans le rapport du carré du diamètre du cylindre admetteur au carré du diamètre des cylindres détendeurs. Toutes les courbes étant ensuite corrigées de l'effort d'inertie correspondant au poids des pièces mobiles, une dernière correction a été effectuée eu égard au poids intégral de ces pièces mobiles : les ordonnées du bas (côté majeur) de chaque cylindre ont été augmentées de la quantité correspondante à ce poids, tandis que les ordonnées du haut (côté mineur) ont été diminuées de cette même quantité. Le couple total, *fig.* 69, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacun des trois cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle du cylindre admetteur a été prise pour index.

Fig. 69. Couple de rotation de l'*Iraouaddy*.



Chaque piston de cylindre détendeur conduit, au moyen d'un balancier, une

pompe à air aspirante élévatoire. La condensation s'effectuant par surface, l'action de ces pompes n'est bien sensible que vers la fin de la course montante du piston moteur correspondant ; et comme cette action agit alors sur l'arbre avec un bras de levier très-faible, son influence ne modifie pas d'une manière sensible le couple de rotation. La diminution qui résulte de l'action des pompes à air se traduit par une petite diminution du couple moteur, surtout sensible dans une région de 45° après le point mort bas du cylindre admetteur, et sur une région de 45° après la demi-course descendante du piston de ce cylindre.

La machine de l'*Iraouaddy* est, comme celle de l'*Infernet*, à trois cylindres Woolf ayant les manivelles des cylindres détendeurs calées à 90°, mais elle est à pilon. L'influence du poids des pièces mobiles, en dehors de l'effort d'inertie, se fait sentir dans la région du point mort haut du cylindre admetteur ; et c'est toujours au point mort bas du piston de ce cylindre que la machine s'arrête lorsqu'on veut marcher le plus doucement possible, à moins qu'on n'introduise directement dans les cylindres détendeurs. Il y a lieu de remarquer, toutefois, que la machine de l'*Iraouaddy* fonctionne à un très-grand degré de détente, puisque l'introduction effective vaut seulement 0,12 ; et néanmoins son couple de rotation n'est pas inférieur à celui de l'*Infernet*. Cela tient à ce que dans cet appareil, et à cause de la pression élevée de la vapeur qui vaut $5^{at},8$, la surface du piston du cylindre admetteur étant d'ailleurs deux fois moindre que celle des autres, ce cylindre admetteur travaille moins que chacun des cylindres détendeurs. La forme du couple de rotation provient, par suite, beaucoup plus du calage à 90° des manivelles des cylindres détendeurs que de l'action du cylindre admetteur, qui n'est pas ici prépondérante, mais qui s'ajoute néanmoins à la résultante des actions de ces cylindres détendeurs.

Étoile du Chili, *fig.* 70. — *Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts à* 180°, *avec condensation par surface* (*à hélice*), *type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 27_1).

Puissance en chevaux de 300^{km}	300^{ch}
Diamètre des cylindres — admetteurs	$0^m,700$
Diamètre des cylindres — détendeurs	$1^m,250$
Course des pistons	$0^m,900$
Nombre de tours par minute	$67^t,00$
Introduction aux cylindres — admetteurs	0,35
Introduction aux cylindres — détendeurs	0,75
Introduction effective	0,11
Pression absolue aux chaudières	$5^{at},75$
Poids des pièces mobiles pour chaque cylindre — admetteur	1.680^{kg}
Poids des pièces mobiles pour chaque cylindre — détendeur	2.280^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle	3,80
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure	$0^{kg},904$
Rapport du couple maximum au couple moyen	1,18
Rapport du couple minimum au couple moyen	0,73

Après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, les courbes d'indicateur et les courbes d'inertie ont été réduites dans le rapport du carré

du diamètre des cylindres admetteurs au carré du diamètre des cylindres détendeurs. Les ordonnées des courbes d'indicateur ayant d'abord été corrigées de la quantité correspondante à l'effort d'inertie des pièces mobiles, ces ordonnées ont été augmentées pour le bas (côté majeur), et diminuées pour le haut (côté mineur), de la quantité correspondante au poids intégral des pièces mobiles de chaque espèce de cylindre. — Le couple total, *fig.* 70, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels de chacun des quatre cylindres, en tenant compte des positions relatives des manivelles. La manivelle du cylindre détendeur avant a été prise pour index. — Le piston du cylindre détendeur avant conduit, au moyen d'un balancier, une pompe à air aspirante élévatoire ; comme la condensation s'effectue par surface, l'action de cette pompe ne se fait bien sentir qu'un peu avant le point mort haut du cylindre détendeur avant, et n'influe pas sensiblement sur le couple de rotation. Le piston du cylindre détendeur arrière conduit, au moyen d'un balancier, une pompe de circulation dont l'action se fait sentir pendant toute la durée de la course de ce piston, et principalement à demi-course. De ce fait, le couple de rotation doit être diminué d'une certaine quantité variable, qui est maximum aux deux points morts du cylindre détendeur avant et minimum aux demi-courses du piston de ce cylindre.

Fig. 70. Couple de rotation de l'*Étoile du Chili*.

Le couple de rotation de l'*Étoile du Chili* est assez régulier, et présente quatre périodes de mouvement par tour. Il est préférable à celui de la *Guyenne*, qui présente le même nombre de périodes. Ce couple de rotation est d'autant plus remarquable, que la machine fonctionne à un degré de détente très-étendu, puisque l'introduction effective vaut seulement 0,11. Une machine à deux, ou même à quatre cylindres, qui fonctionnerait au même degré d'introduction, serait bien loin d'avoir un couple aussi régulier, tout en ayant le même nombre de périodes de mouvement par tour ; cela tient à ce que la pression baisserait rapidement dans les cylindres dès le premier dixième de la course des pistons, et qu'il y aurait des écarts considérables entre l'effort maximum et l'effort minimum transmis par les tiges de piston.

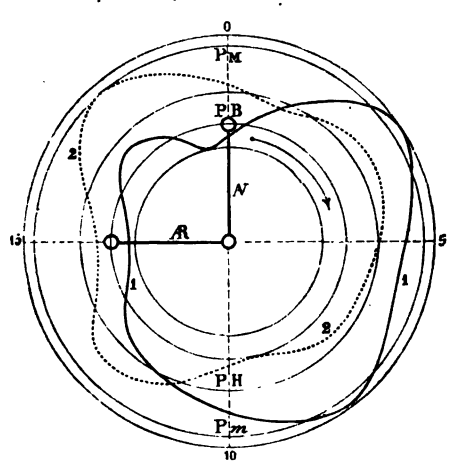
France, *fig.* 71. — *Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts à* 90°, *avec condensation par surface* (*à hélice*), *type de Maudslay* (n° 27_3).

Puissance en chevaux de 300^{km}. . . . . 850^{ch}

Diamètre des cylindres	admetteurs	1m,046
	détendeurs	1m,905
Course des pistons		1m,295
Nombre de tours par minute		58t,50
Introduction aux cylindres	admetteurs	0,67
	détendeurs	0,70
Introduction effective		0,20
Pression absolue aux chaudières		5at,00
Poids des pièces mobiles pour chaque paire de cylindres . .		8.500kg
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle .		4,00
Charbon consommé par cheval indiqué et par heure. . . .		1kg,00
Rapport du couple maximum au couple moyen.		1,31
Rapport du couple minimum au couple moyen.		0,64

Après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, les courbes des cylindres admetteurs ont été réduites dans le rapport du carré du diamètre de ces cylindres au carré du diamètre des cylindres détendeurs; puis on a ajouté les ordonnées des deux courbes des cylindres conjugués. Les résultats ainsi obtenus ont été corrigés, pour chaque paire de cylindres, de la quantité correspondante à l'inertie des pièces mobiles, puis de la quantité correspondante au poids intégral de ces pièces. Cette dernière quantité a été portée en augmentation sur les ordonnées de la course montante, et en diminution sur les ordonnées de la course descendante. Le couple total 1, *fig.* 71, dont la valeur moyenne est représentée par 20mm, est la somme des couples individuels correspondant à chaque paire de cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle de la paire de cylindres avant a été prise pour index. — La courbe 2 représente le couple de rotation de la même machine, mais horizontale; c'est-à-dire le couple qui correspond au cas où les courbes d'indicateur ne sont pas corrigées de la quantité correspondante au poids intégral des pièces mobiles. Les courbes 1 et 2 permettent d'apprécier l'influence de ces poids sur les variations du couple de rotation.

Fig. 71. Couple de rotation de la *France*.



Chaque tige de piston de cylindre détendeur conduit une pompe à air aspirante élévatoire; comme la condensation s'opère par surface, l'action de ces pompes à air n'est bien sensible que vers la fin des courses montantes des pistons. Il en résulte une diminution variable du couple de rotation, minimum entre les divisions 15 et 0, et maximum entre les divisions 5 et 10.

Le couple de rotation 1 des machines à pilon de la *France* accuse quatre périodes de mouvement, comme dans les machines à deux cylindres; mais les valeurs des accélérations diffèrent notablement. La valeur moyenne du couple est considérable pendant la course descendante des pistons de la paire avant de cylindres, tandis qu'elle est relativement très-faible pendant la course montante de ces pistons. Cela tient, pour une certaine partie, à la plus grande introduction du bas, qui est le bout majeur, et principalement à l'action du poids des pièces mobiles, en dehors des efforts d'inertie. La courbe 2, tracée pour le cas où la machine est horizontale, accuse en effet un couple de rotation beaucoup plus régulier. Malgré la faible introduction effective de 0,20, le couple 2 de la *France* a un avantage très-marqué sur celui de la *Guyenne*, qui correspond cependant à une introduction de 0,55. C'est là un des grands avantages des machines Woolf à cylindres bout à bout, et qui provient de ce que, à égalité de détente, l'écart entre la poussée maximum et la poussée minimum transmises par les tiges est notablement plus faible que dans les machines ordinaires.

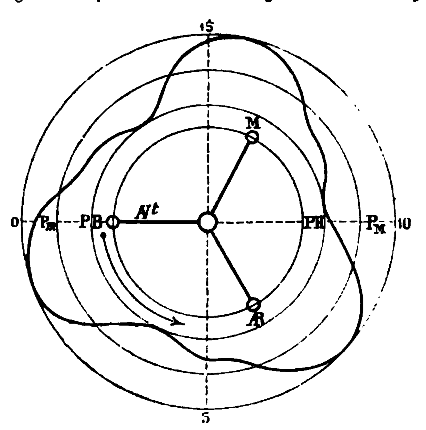
Rigault de Genouilly, *fig.* 72. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout points morts à* 120°, *avec condensation par surface (à hélice), type d'Indret* (n° 31_1).

Puissance en chevaux de 300^{km}		500^{ch}
Diamètre des cylindres	admetteurs	0^m,900
	détendeurs	1^m,360
Course des pistons		0^m,600
Nombre de tours par minute		96^t,00
Introduction aux cylindres	admetteurs	0,600
	détendeurs	0,600
Introduction effective		0,263
Pression absolue aux chaudières		5^{at},00
Poids des pièces mobiles pour chaque paire de cylindres		5.862^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		4,80
Charbon dépensé par cheval indiqué et par heure		1^{kg},110
Rapport du couple maximum au couple moyen		1,20
Rapport du couple minimum au couple moyen		0,80

Les trois manivelles sont calées à 120°. Après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, les courbes des cylindres admetteurs ont été réduites dans le rapport du carré du diamètre de ces cylindres au carré du diamètre des cylindres détendeurs; puis on a ajouté, pour chaque paire de cylindres, les ordonnées des courbes du cylindre admetteur aux ordonnées correspondantes des courbes de son cylindre détendeur. Les cylindres étant horizontaux, les dernières courbes ainsi obtenues n'ont été corrigées que de la quantité correspondante à l'effort d'inertie des pièces mobiles pour chaque paire de cylindres. Le couple total, *fig.* 72, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacune des trois paires de cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle de la paire de cylindres avant a été prise pour index. — Chaque piston

de cylindre détendeur conduit une pompe à air à double effet; comme la condensation s'effectue par surface, l'action de chaque pompe ne se fait bien sentir que vers la fin de course du piston moteur correspondant, et la résistance qu'elle oppose agit avec un faible bras de levier. Le couple de rotation ne doit pas être sensiblement modifié par la résistance des pompes.

Fig. 72. Couple de rotation du *Rigault de Genouilly*.



Le couple de rotation du *Rigault de Genouilly* est comparable à celui de la *Gauloise*, la machine de ce dernier bâtiment étant à détente simple, et celle du premier étant du système Woolf à cylindres bout à bout. Le couple du *Rigault de Genouilly* est moins régulier, à cause de sa plus faible introduction effective, qui est de 0,26, tandis qu'elle est de 0,40 su la *Gauloise*. Mais il présente aussi six périodes de mouvement, dont trois à grandes accélérations, et trois à accélérations beaucoup plus faibles. Si sur la *Gauloise* l'introduction était réduite à 0,26, le couple ne serait même pas aussi régulier que celui du *Rigault de Genouilly*, à cause du plus grand écart entre la poussée maxima et la poussée minima transmise par les tiges. Avec les machines telles que celles du *Rigault de Genouilly*, on peut aborder sans crainte de très-grandes vitesses de rotation; d'autre part, la machine peut fonctionner à des allures très-réduites, sans aucune difficulté pour franchir les points morts, car, pour les points morts de chaque cylindre, les deux autres fournissent un couple assez puissant.

Tourville, *fig.* 73. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à quatre paires de cylindres bout à bout points morts à 90° et 180°, avec condensation par surface (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 31_2).

Puissance en chevaux de 300^{km}		1800^{ch}
Diamètre des cylindres	admetteurs	1^m,42
	détendeurs	2^m,05
Course des pistons		1^m,00
Nombre de tours par minute		76^t,20
Introduction aux cylindres	admetteurs	0,80
	détendeurs	0,80
Introduction effective		0,38
Pression absolue aux chaudières		3^{at},25
Poids des pièces mobiles pour chaque paire de cylindres		14.796^{kg}
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		4,6
Charbon dépensé par cheval indiqué et par heure		1^{kg},10
Rapport du couple maximum au couple moyen		1,14
Rapport du couple minimum au couple moyen		0,83

Après permutation des lignes d'évacuation entre le bas et le haut, les courbes des cylindres admetteurs ont été réduites dans le rapport du carré du diamètre de ces cylindres au carré du diamètre des cylindres détendeurs. Pour les courbes de même nom, bas ou haut, les ordonnées ainsi réduites de chaque cylindre admetteur ont été ajoutées aux ordonnées des courbes du cylindre détendeur correspondant. Les nouvelles courbes ainsi obtenues ont été corrigées de la quantité correspondante à l'effort d'inertie des pièces mobiles de chaque paire de cylindres. Le couple total *fig.* 73, dont la valeur moyenne est représentée par 20^{mm}, est la somme des couples individuels correspondant à chacune des quatre paires de cylindres, en tenant compte des positions respectives des manivelles. La manivelle de la paire avant de cylindres a été prise pour index. — Chaque piston de cylindre détendeur conduit une pompe à air à double effet; comme la condensation s'effectue par surface, la résistance de chaque pompe n'est bien sensible que vers la fin de course du piston moteur correspondant, et l'ensemble de ces résistances ne doit pas influer sensiblement sur le couple de rotation.

Fig. 73. Couple de rotation du *Tourville*.

Le couple de rotation du *Tourville* est comparable à celui d'une machine à quatre cylindres fonctionnant à détente simple. Ce couple présente quatre périodes de mouvement dont les accélérations positives maximum sont à 45° environ des points morts, et les accélérations négatives maximum à ces points morts eux-mêmes. L'introduction effective étant de 0,38, ce couple présente une très-grande régularité, avec des écarts modérés entre ses valeurs extrêmes. Cet écart devient naturellement plus grand quand l'introduction est diminuée; mais le couple de rotation conserve sa forme. Avec ce genre de machine, comme avec le précédent, on peut aborder sans crainte de grandes vitesses de rotation; mais le nombre de tours ne peut descendre aussi bas qu'avec un appareil à trois paires de cylindres, par la raison que la valeur minimum du couple de rotation correspond aux points morts. Il vient par suite un moment où les points morts ne sont franchis qu'avec beaucoup d'hésitation.

N° 71$_4$ Couple moteur de départ d'une machine. Détermination des positions défavorables à la mise en marche. — A l'état d'équilibre statique, avant le départ, il existe au pied A de la bielle, *fig.* 74, trois forces telles, que chacune d'elles est égale et directement opposée à la résultante des deux autres :

1° La poussée P_1 transmise par la tige de piston;

2° La résistance P que la machine oppose à la mise en marche et dirigée suivant la bielle;

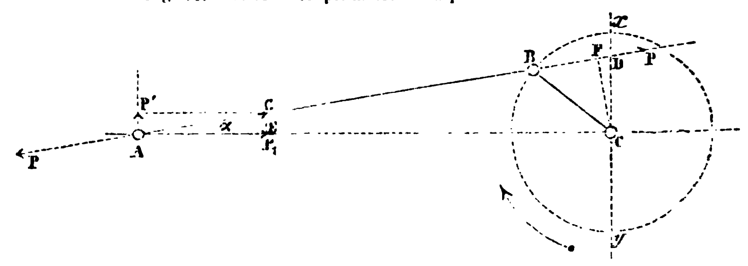
3° La réaction P' de la glissière.

Or on a :

$$P = \frac{P_1}{\cos \alpha}.$$

Le moment de l'effort P par rapport à l'axe de l'arbre est $P \times CF$; et il faut, pour que la machine puisse partir, que non-seulement ce moment ne soit pas nul, mais qu'il ait encore une valeur suffisante pour vaincre les moments des frottements des divers organes.

Fig. 74, relative au couple moteur de départ d'une machine.



Les triangles semblables AEG et CFD donnent :

$$\frac{\text{AE ou } P_1}{\text{CF}} = \frac{\text{AG ou P}}{\text{CD}}; \text{ d'où } \quad P \times CF = P_1 \times CD.$$

On pourra par suite construire une courbe représentant le couple moteur de départ, en multipliant la poussée effective sur le piston par la portion du rayon vertical Cx ou Cy, interceptée par la direction de la bielle.

Comme la machine est toujours mise en marche avec les purges ouvertes, la contre-pression aux cylindres vaut une atmosphère. D'un autre côté, il faut admettre que la pression à l'introduction est égale à la pression absolue à la chaudière, car, si la machine ne part pas, l'égalité de pression entre le cylindre et le générateur aura le temps de s'établir. Dans ces conditions, la poussée P_1 de la vapeur restera constante par unité de surface du piston, et la valeur du moment de cette poussée pourra être représentée par la longueur CD que la bielle intercepte sur le rayon perpendiculaire à la course.

Nous allons construire la *courbe représentative* du couple moteur de départ pour quelques types de machines.

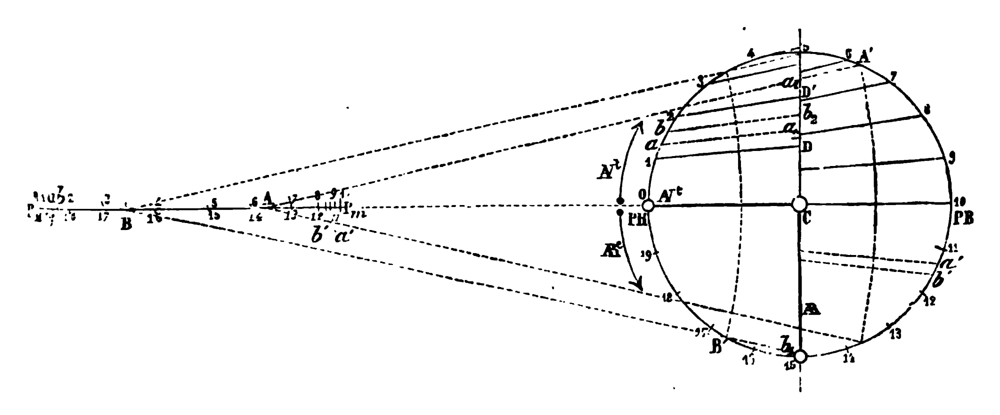
Guyenne. — *Machine ordinaire, horizontale à bielle en retour à deux cylindres points morts à 90° (à hélice), type des Chantiers et ateliers de l'Océan* (n° 124_1 du *Gd Traité*).

Régulation pour les deux marches :

Introduction	bas	0,69
	haut	0,77
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		= 4,00

Prenons une longueur quelconque, 20mm, par exemple, pour représenter la longueur de la manivelle, et construisons la transmission du mouvement, *fig.* 75, en prenant une bielle égale à 4 fois la manivelle, c'est-à-dire à 20 × 4 = 80 millimètres. Dans le genre de machine qui nous occupe, les deux manivelles sont calées à 90°, et chacune d'elles devance l'autre dans le sens de la marche qui porte le même nom qu'elle; ces manivelles occupent par suite la position indiquée sur la *fig.* 75, lorsque la manivelle avant est au point mort

Fig. 75, relative à la recherche du couple moteur de départ d'une machine.



majeur, qui est ici PH. Partageons la circonférence des manivelles en vingt parties égales à partir de ce point mort majeur, et déterminons, de ces points de division comme centres et avec la bielle pour rayon, les positions correspondantes du pied de bielle. Enfin, menons les positions des bielles qui correspondent aux points de division, et les longueurs CD, CD', etc., interceptées par ces bielles sur le rayon perpendiculaire au diamètre des points morts, représentent les valeurs du couple relatif au cylindre avant, pour les points de division correspondants. L'opération n'a besoin d'être faite que pour une demi-révolution, à cause de la symétrie des points de division de la circonférence par rapport au diamètre des points morts.

L'introduction du bout majeur valant 0,77 de la course, déterminons, à par-

tir de P_m, et à la distance $40 \times 0,77 = 30^{mm},8$, le point A où finit l'introduction du haut. De même, en portant à partir de P_m une longueur égale à $40^m \times 0,69 = 27^{mm},6$, nous déterminerons le point B où finit l'introduction du bas. Des points A et B de la course comme centres et avec la bielle pour rayon, déterminons les points A′ et B′ occupés par la manivelle sur la circonférence quand l'introduction cesse. — Le couple de départ de chaque cylindre est nul de A′ jusqu'à PB, et de B′ jusqu'à PH.

Pour faire la somme des couples moteurs de départ des deux cylindres, il suffit d'ajouter deux à deux les longueurs telles que CD et CD′, etc., en partant du point mort haut pour le cylindre avant, et de la division 15 pour le cylindre arrière ; de sorte qu'on ajoute la valeur du couple aux points 0, 1, 2, 3, etc., du cylindre avant, avec la valeur du couple aux points 15, 16, 17, 18, etc., du cylindre arrière. — Lorsque la manivelle du cylindre arrière passe en B′, l'introduction du bas se ferme pour ce cylindre ; la manivelle du cylindre avant est en *b*, et le couple moteur vaut $Cb_2 + Cb_1$. Pour le même point, mais quand l'introduction bas du cylindre arrière est fermée, la vapeur n'a pas accès dans ce cylindre, et le couple moteur vaut seulement Cb_2. Lorsque la manivelle du cylindre avant passe en A′, l'introduction se ferme pour le haut du cylindre; la manivelle du cylindre arrière est en *a*, et le couple moteur vaut $Ca_1 + Ca_2$. Après la fermeture de l'introduction haut du cylindre avant, la valeur du couple se réduit à Ca_2. — Il y a lieu de tenir compte des mêmes phénomènes pour la course montante du piston du cylindre avant.

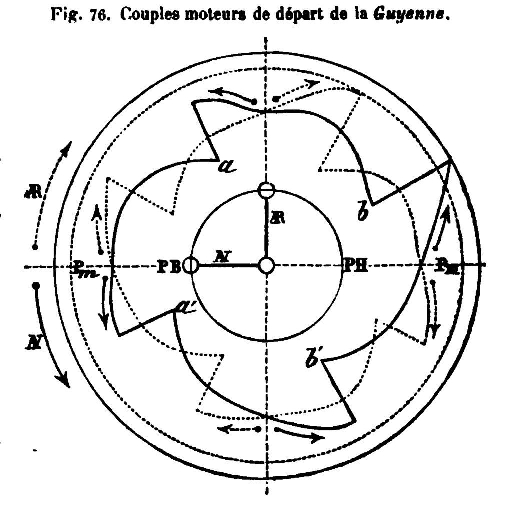
Le couple moteur de départ ainsi construit pour la marche avant est représenté en traits pleins sur la *fig.* 76, dans laquelle on a pris pour point de départ, au lieu du centre, une circonférence dont le rayon est de 10^{mm}. — On voit que le couple de départ n'est jamais nul, et que la machine est susceptible de partir dans toutes les positions que peuvent occuper les manivelles. C'est lorsque la manivelle du cylindre avant est en *b*, un peu avant la fermeture de l'introduction du bas du cylindre arrière, que le couple moteur a sa plus grande valeur. Les positions de la manivelle du cylindre avant comprises entre le point mort haut et le point *b* sont donc éminemment favorables à la mise en marche en avant. Le couple moteur atteint sa valeur minimum lorsque la manivelle du cylindre avant est au point *a*′, après la fermeture de l'introduction du haut du cylindre arrière.

Le couple moteur de départ pour la marche arrière se construit de la même manière que celui de la marche avant; mais ici, en raison de la position relative des manivelles, il faut ajouter les valeurs telles que CD, CD′, etc., *fig.* 75, correspondant aux divisions 0, 1, 2, 3... etc., du cylindre avant, avec celles de ces valeurs qui correspondent aux divisions 5, 6, 7, 8..., etc., du cylindre arrière. On obtient ainsi la courbe tracée en pointillé sur la *fig.* 76. Cette courbe a exactement la forme de celle de la marche avant ; mais la valeur maximum du couple de rotation est moins élevée. Cette valeur maximum correspond à la fermeture de l'introduction bas du cylindre avant.

Pour que la machine parte facilement en avant ou en arrière, et pour qu'elle franchisse facilement ses premiers points morts, il faut placer les manivelles dans des positions telles que le couple de départ aille en augmentant. A ce point

de vue, et en tenant compte de ce que ce couple de départ conserve toujours une valeur positive, les positions à 45° sur la ligne des points morts sont les plus favorables. — Mais au point de vue pratique, et en tenant compte de l'action du poids des bielles, la mise en marche dans les deux sens de la rotation sera surtout mieux assurée en plaçant la manivelle du cylindre avant à 45° au-dessus du point mort haut, celle du cylindre arrière étant à 45° au-dessous de ce même point mort. — En effet, que l'on parte en avant ou en arrière, il y a toujours un piston qui parcourt sa course majeure, pour laquelle il y a la plus grande introduction, ce qui assure une poussée plus continue. Il ne faut pas perdre de vue, en effet, que, dès que la machine est ébranlée, le couple moteur ne conserve plus la même valeur, en raison de la diminution de la pression qui résulte de la marche des pistons.

Fig. 76. Couples moteurs de départ de la *Guyenne*.



France. — *Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout points morts à 90° (à hélice), type de Maudslay* (n° 27_3).

Régulation pour les deux marches :

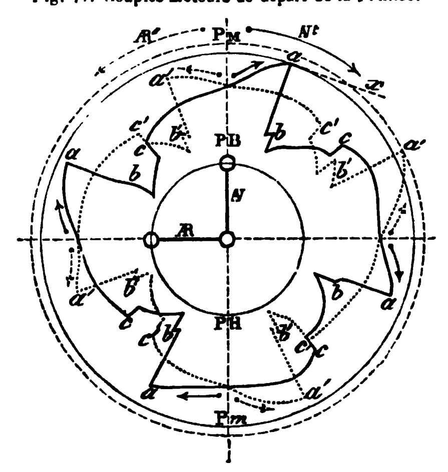
Introduction	bas	admetteurs	0,753
		détendeurs	0,731
	haut	admetteurs	0,689
		détendeurs	0,637
Avances à l'évacuation des cylindres admetteurs		bas	0,069
		haut	0,115
Compression dans les cylindres admetteurs		bas	0,143
		haut	0,086
Diamètre des cylindres admetteurs		d =	1m,041
Diamètre des cylindres détendeurs		D =	1m,910
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		=	4,00

Pour ce type de machine, il faut construire le couple de rotation relatif à chaque paire de cylindres, puis ajouter les deux résultats en tenant compte de la position des manivelles. Pour chaque paire de cylindres, il y a lieu de considérer que les efforts sont proportionnels aux surfaces des pistons, et que, par suite, en rapportant tout au cylindre détendeur, les valeurs relatives au cylindre admetteur doivent être réduites dans le rapport des carrés des diamètres des cylindres. Nous supposerons, comme cela a généralement lieu,

que pour mettre en marche on introduit directement la vapeur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, en même temps que dans celle du cylindre admetteur. Or, l'action du cylindre admetteur est nulle du point mort bas jusqu'aux 0,753 de la course montante, et du point mort haut jusqu'aux 0,689 de la course descendante, parce que la vapeur introduite dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur pénètre dans le cylindre admetteur par le côté de l'évacuation.

La détente naturelle du bas dans le cylindre admetteur commence aux 0,753 de la course montante; la compression du haut vaut 0,086, et se produit avant l'évacuation du bas, qui ne vaut que 0,069. Par suite, entre la fin de l'introduction du bas, et le commencement de la compression du haut, l'action du cylindre admetteur est négative. De la compression du haut à l'avance à l'évacuation du bas, l'action du cylindre est nulle; enfin, de l'avance à l'évacuation du bas jusqu'au point mort haut, l'action du cylindre admetteur est positive, mais cette action est très-faible. — Pour la course descendante, l'action du cylindre admetteur est négative depuis la fin de l'introduction jusqu'à la compression du bas, qui vaut 0,143; cette action devient ensuite nulle jusqu'à l'avance à l'évacuation du haut, qui vaut 0,115; et enfin l'action du cylindre détendeur est positive, mais très-faible, depuis l'avance à l'évacuation du haut jusqu'au point mort bas.

Fig. 77. Couples moteurs de départ de la *France*.



Pour le cylindre détendeur, il n'y a lieu de considérer que le côté de l'introduction, car l'action du cylindre est nulle depuis le commencement de la détente naturelle jusqu'au point mort.

La *fig.* 77 représente les couples moteurs de départ de la *France*, construits en tenant compte de ce qui vient d'être dit. La courbe pleine correspond à la marche avant et la courbe pointillée à la marche arrière. Ces courbes ont été tracées en prenant pour index la manivelle des cylindres avant, et pour point de départ le point mort bas de cette manivelle. Les introductions des cylindres détendeurs cessent aux points *a* pour la marche avant et *a'* pour la marche arrière. Les introductions des cylindres admetteurs cessent aux points *b* pour la marche avant et *b'* pour la marche arrière. Enfin, les évacuations ou les compressions des cylindres admetteurs cessent aux points *c* pour la marche avant et *c'* pour la marche arrière.

Le couple de départ n'est jamais nul ; par suite, la machine est suceptible de partir, soit en avant, soit en arrière, dans toutes les positions que peuvent occuper les manivelles.

On remarque toutefois que le couple de départ est relativement très-faible

lorsque la manivelle du cylindre avant est à 45° sur la ligne des points morts; ces positions sont les moins favorables à la mise en marche. — Les positions les plus favorables pour le départ se trouvent aux environs des points morts de l'un quelconque des pistons des deux paires de cylindres, parce que le couple moteur augmente. Pour les deux sens de la rotation, ce sont les points morts eux-mêmes d'une des paires de cylindres qui constituent les positions les plus favorables à la mise en marche, mais surtout le point mort bas de la paire de cylindres avant.

Il importe de faire remarquer que cette machine possède, sur ses cylindres détendeurs, des tiroirs qui permettent d'introduire directement dans les orifices de ces cylindres, au lieu d'introduire dans la boîte à tiroir. Il en résulte que, même lorsque l'introduction de l'un des cylindres détendeurs est fermée, ce cylindre peut recevoir de la vapeur pour la mise en marche; par suite, le couple moteur de départ conserve une grande valeur, et se continue, pour la marche avant, par exemple, suivant la courbe *ax* tracée en éléments. Dans ces conditions, l'action négative du cylindre admetteur n'existe pas, puisqu'on ne met pas de vapeur dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur.

Marengo. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à* 90° *et* 135° (*à hélice*), *type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 30_3).

RÉGULATION, les trois cylindres étant égaux.			MARCHES avant.	MARCHES arrière.
Introduction	bas	admetteur	0,845	0,875
		détendeurs	0,750	0,750
	haut	admetteur	0,900	0,795
		détendeurs	0,816	0,816
Avance à l'évacuation du cylindre admetteur		bas	0,070	0,200
		haut	0,070	0,160
Compression du cylindre admetteur		bas	0,021	0,080
		haut	0,013	0.090

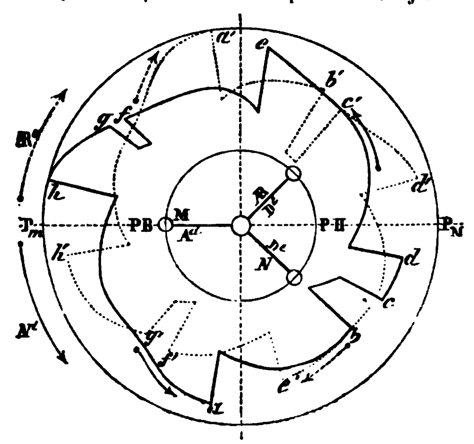
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle = 3,8.

Dans ce type de machine, les trois cylindres sont égaux; il n'y a par suite aucune réduction à faire pour le cylindre admetteur. Les couples moteurs de départ, construits en prenant pour index la manivelle du cylindre admetteur, sont représentés par la *fig.* 78. Ils ont été obtenus en faisant, pour chaque marche, la somme des couples de départ des trois cylindres, et en tenant compte des positions relatives de leurs manivelles. La régulation est la même aux cylindres détendeurs pour les deux sens de la rotation, mais il n'en est pas de même pour le cylindre admetteur, dont les introductions sont plus faibles pour la marche arrière que pour la marche avant.

Le couple moteur de départ en avant est représenté par la courbe pleine. Au point *a*, l'introduction haut du cylindre arrière cesse, et le couple de rota-

tion diminue considérablement. — De *b* en *c*, c'est-à-dire de la fin de l'introduction bas du cylindre arrière jusqu'à l'avance à l'évacuation, le cylindre milieu agit à-contre de la marche à produire, et le couple de rotation est très-faible. — L'introduction du haut du cylindre avant cesse en *d*: celle du bas du cylindre arrière en *e*; et à chacun de ces points il y a une diminution brusque et considérable de la valeur du couple de départ. — Le cylindre milieu agit encore à contre-vapeur de *f* en *g*, entre la fin de l'introduction du haut et l'avance à l'évacuation. Enfin, en *h*, finit l'introduction bas du cylindre avant.

Fig. 78. Couples moteurs de départ du *Marengo*.



Les positions les plus favorables pour le départ en avant sont celles qui placent la manivelle du cylindre milieu un peu avant les points *a* et *e*, c'est-à-dire peu après les points morts. Entre les points *b* et *c*, la machine ne partirait pas.

Pour la marche arrière, les lettres affectées d'un prime désignent les points où sont remplis les fonctions des tiroirs, comme pour la marche avant : en *a'* et *e'* finissent les introductions haut et bas du cylindre avant ; en *d'* et *h'* finissent les introductions haut et bas du cylindre arrière ; en *b'* et *f'* finissent les introductions bas et haut du cylindre milieu ; enfin, en *c'* et en *g'* commencent les évacuations bas et haut de ce cylindre milieu. — Le couple moteur de départ est très-faible entre *f'* et *g'* et surtout entre *b'* et *c'*, lorsque les introductions du cylindre milieu sont fermées et avant que les évacuations soient ouvertes.

Les positions les plus favorables pour la mise en marche en arrière sont celles qui placent la manivelle du cylindre milieu un peu avant les points *a'* et *e'*, c'est-à-dire un peu après les points morts. Entre *f'* et *g'*, et surtout entre *b'* et *c'*, la machine ne partirait pas.

Pour être prêt à marcher dans l'un quelconque des deux sens de la rotation, et avec une égale facilité pour les deux marches, il faut stopper la machine en plaçant la manivelle du cylindre milieu dans le voisinage d'un de ses points morts. Comme les introductions sont plus grandes pour la course descendante que pour la course montante, la machine étant à bielle en retour, la position de la manivelle du cylindre milieu au point mort bas sera toujours plus favorable, parce que les cylindres extrêmes agiront plus longtemps que si cette manivelle était au point mort haut.

Suffren. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois*

cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), type d'Indret (n° 29_3).

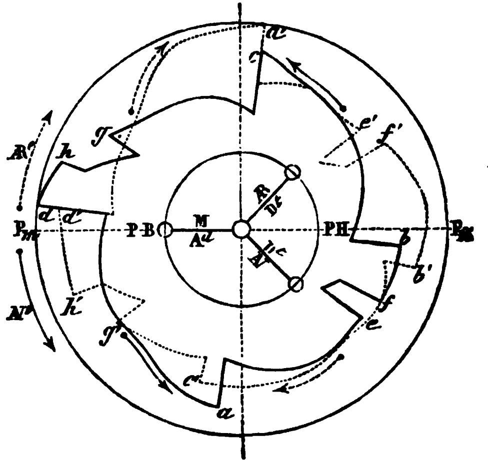
RÉGULATION, les trois cylindres étant égaux.			MARCHES avant.	MARCHES arrière.
Introduction	bas	admetteur	0,875	0,875
		détendeurs	0,735	0,865
	haut	admetteur	0,925	0,925
		détendeurs	0,825	0,925
Avance à l'évacuation du cylindre admetteur		bas	0,052	0,052
		haut	0,031	0,031
Compression du cylindre admetteur		bas	0,031	0,031
		haut	0,050	0,050

Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle = 3,8.

Les trois cylindres sont égaux. La régulation est la même au cylindre admetteur pour les deux sens de la rotation. Pour les cylindres détendeurs, l'introduction est plus forte pour la marche arrière que pour la marche avant, ce qui facilite la mise en marche. Il est vrai qu'il y a un peu de retard à l'introduction dans ces cylindres lors de la marche arrière, mais l'effet qui en résulte est peu sensible, en raison du faible bras de levier, et cette régulation ne présenterait des inconvénients que si la marche en arrière devait être soutenue.

La *fig.* 79 représente les couples de départ de la machine qui nous occupe. La courbe pleine appartient à la marche avant, et la courbe pointillée à la marche arrière. Les introductions du cylindre arrière cessent aux points *a* et *c* pour la marche avant, et aux points *b'* et *d'* pour la marche arrière. Les introductions du cylindre avant cessent aux points *b* et *d* pour la marche avant, et aux points *a'* et *c* pour la marche arrière. Les introductions du cylindre milieu cessent aux points *e* et *g* pour la marche avant, et aux points *e'* et *g'* pour la marche arrière. Enfin, les avances à l'évacuation ou les compressions du cylindre milieu commencent aux points *f* et *g* pour la marche avant, et aux points *f'* et *g'* pour la marche arrière.

Fig. 79. Couples moteurs de départ du *Suffren*.



Entre *ef*, *e'f'*, *gh*, *g'h'*, le cylindre milieu agit à-contre de la marche à pro-

duire. Eu égard aux variations des couples de départ, la position la plus favorable pour la mise en marche, dans l'un quelconque des deux sens de la rotation, est celle qui place la manivelle du cylindre milieu à un de ses points morts. La préférence doit être donnée au point mort bas, parce que des deux cylindres détendeurs l'un est sur sa course majeure, et l'autre va bientôt l'attaquer. — La mise en marche en arrière est particulièrement facile en raison des grandes introductions dans les cylindres détendeurs pour cette marche; le couple de départ est en effet très-fort aux deux points morts du piston du cylindre milieu.

Infernet. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), type d'Indret* (n° 29_2).

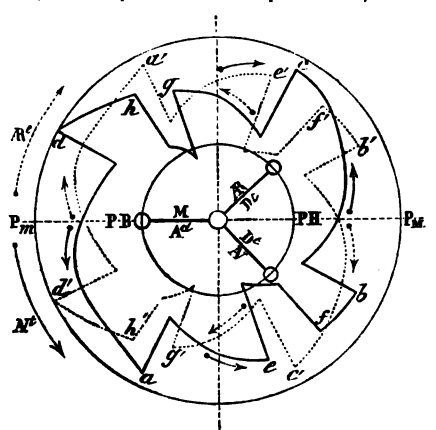
Régulation pour les deux marches, les trois cylindres étant égaux:

Introduction à tous les cylindres	bas	0,600
	haut	0,720
Avances à l'évacuation du cylindre admetteur	bas	0,165
	haut	0,197
Compression du cylindre admetteur	bas	0,060
	haut	0,060

Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle = 4,0.

Les trois cylindres étant égaux, il n'y a aucune réduction à faire pour le cylindre admetteur. Le couple moteur de départ, *fig.* 80, a été construit en prenant pour index la manivelle du cylindre admetteur, et à partir du point mort bas de cette manivelle. Il a été obtenu en faisant la somme des couples de départ des trois cylindres et en tenant compte des positions relatives de leurs manivelles. La courbe en traits pleins correspond à la marche avant, et la courbe en traits pointillés à la marche arrière. Nous n'avons pas tenu compte des périodes de compression du cylindre admetteur à cause de leurs faibles valeurs.

Fig. 80. Couples moteurs de départ de l'*Infernet*.



Les introductions du cylindre arrière cessent aux points *a* et *c* pour la marche avant, et aux points *a'* et *c'* pour la marche arrière; celles du cylindre avant cessent aux points *b* et *d* pour la marche avant, et aux points *b'* et *d'* pour la marche arrière. Les introductions du cylindre milieu cessent aux points *e* et *g* pour la marche avant, et aux points *e'* et *g'* pour la marche arrière. Les évacuations du cylindre milieu commencent aux points *f* et *g* pour la marche avant, et aux points *f'* et *g'* pour la marche arrière. — De *e* en *f* et de *e'* en *f'*, de

g en h et de g' en h', l'action du cylindre milieu est négative ; le couple moteur de départ est très-faible, et se trouve même plus petit que zéro pendant un instant. La machine ne peut pas partir, si la manivelle du cylindre milieu est arrêtée sur *ef* ou *gh* pour la marche avant, et sur *e'f'* et *g'h'* pour la marche arrière.

La réduction considérable du couple de rotation aux positions *ef*, *gh*, *e'f'*, *g'h'*, provient de la faible introduction dans le cylindre admetteur. — Les positions les plus favorables à la mise en marche dans les deux sens de la rotation, sont les points morts de la manivelle du cylindre admetteur. Pour ces positions, le couple de départ a une assez grande valeur, et croît ensuite pendant une fraction notable de la rotation. Le point mort bas du cylindre admetteur est la position que l'on doit préférer, parce que, la machine étant à bielle en retour, cette position de la manivelle du cylindre admetteur au point mort bas place les deux autres manivelles comme sur la *fig.* 80 ; il en résulte que, quel que soit le sens de la rotation, il y a toujours un des pistons des cylindres détendeurs qui parcourt sa course majeure, pour laquelle il y a la plus grande introduction. Cette circonstance est très-favorable pour aider à franchir les premiers points morts, l'autre cylindre étant d'ailleurs en pleine introduction au moment du passage à ce point mort de la première manivelle.

Sané. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois cylindres côte à côte points morts à 90° et 135° (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 29₂).

RÉGULATION, les trois cylindres étant égaux.			MARCHES avant.	MARCHES arrière.
Introduction	bas	admetteur	0,730	0,580
		détendeurs	0,600	0,600
	haut	admetteur	0,830	0,720
		détendeurs	0,720	0,720
Avance à l'évacuation du cylindre admetteur		bas	0,145	0,270
		haut	0,121	0,131
Compression du cylindre admetteur		bas	0,032	0,080
		haut	0,026	0,020

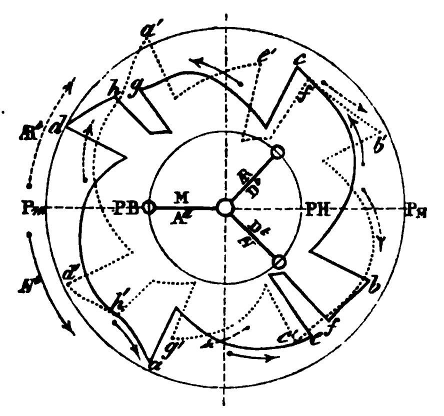
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle = 4,0.

Les trois cylindres étant égaux, il n'y a aucune réduction à faire sur le couple de départ du cylindre admetteur. Pour les cylindres détendeurs, la régulation est la même pour les deux sens de la rotation. Pour le cylindre admetteur, les introductions sont plus faibles pour la marche arrière que pour la marche avant. — La *fig.* 81 représente les deux couples de départ de la machine qui nous occupe. La courbe pleine correspond à la marche avant ; la courbe pointillée correspond à la marche arrière.

Les introductions du cylindre arrière cessent aux points *a* et *c* pour la marche

avant, et aux points b' et d' pour la marche arrière. Les introductions du cylindre avant cessent aux points b et d pour la marche avant et aux points a' et c' pour la marche arrière. Les introductions du cylindre milieu cessent aux points e et g pour la marche avant, et aux points e' et g' pour la marche arrière. Enfin les évacuations du cylindre milieu commencent aux points f et h pour la marche avant, et aux points f' et h' pour la marche arrière. — Nous n'avons pas tenu compte des périodes de compression à cause de leurs faibles valeurs.

Fig. 81. Couples moteurs de départ du *Sané*.



Il existe toujours, pour chaque marche, deux régions : *ef* (ou *e'f'*) et *gh* (ou *g'h'*), sur lesquelles on ne doit pas arrêter la manivelle du piston du cylindre admetteur. Ces régions sont beaucoup plus larges pour la marche arrière que pour la marche avant, à cause de la faible introduction dans le cylindre admetteur, lors de la marche arrière. C'est encore à un point mort de la manivelle du cylindre milieu, et de préférence au point mort bas, qu'il faut placer cette manivelle, pour avoir la même facilité à faire partir la machine, en arrière comme en avant.

En comparant ce couple de départ à celui de l'*Infernet* (*fig.* 80), on reconnaît l'influence de l'augmentation de l'introduction du cylindre admetteur pour la marche avant, dans les régions *ef* et *gh*. Pour la marche arrière, l'introduction du cylindre admetteur du *Sané* retombe à très-peu près aux valeurs qu'elle possède sur l'*Infernet*, et le couple de départ en arrière est sensiblement le même sur les deux bâtiments.

Étoile du Chili. — *Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte points morts à 180° (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 27_1).

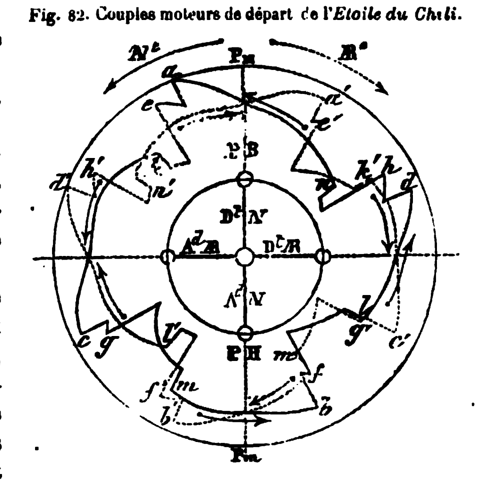
Régulation pour les deux marches :

Introduction	bas	admetteurs	0 ,74
		détendeurs	0 ,78
	haut	admetteurs	0 ,67
		détendeurs	0 ,71
Avances à l'évacuation des cylindres admetteurs		bas	0 ,10
		haut	0 ,10
Compression des cylindres admetteurs		bas	0 ,11
		haut	0 ,09
Diamètres des cylindres		admetteurs . . . d =	0m,70
		détendeurs . . . D =	1m,25

Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle = 3,8.

Les manivelles des quatre cylindres sont disposées sur l'arbre comme l'indique la *fig.* 82. Les éléments relatifs aux cylindres admetteurs étant réduits dans le rapport de d^2 à D^2, on a fait la somme des couples de départ pour les quatre cylindres, ce qui donne pour la marche avant, la courbe en traits pleins de la *fig.* 82, et pour la marche arrière, la courbe en pointillé. La manivelle du cylindre détendeur avant a été prise comme index, et en partant du point mort bas de cette manivelle.

Fig. 82. Couples moteurs de départ de l'*Etoile du Chili*.



Les introductions du cylindre admetteur arrière cessent aux points *a* et *b* pour la marche avant, et aux points *a'* et *b'* pour la marche arrière. Les évacuations de ce cylindre commencent aux points *k* et *l* pour la marche avant, et aux points *k'* et *l'* pour la marche arrière.

Les introductions du cylindre admetteur avant cessent aux points *c* et *d* pour la marche avant, et aux points *c'* et *d'* pour la marche arrière. Les évacuations de ce cylindre commencent aux points *m* et *n* pour la marche avant, et aux points *m'* et *n'* pour la marche arrière. Nous n'avons pas tenu compte des périodes de compression.

Les introductions du cylindre détendeur avant cessent aux points *g* et *h* pour la marche avant, et aux points *g'* et *h'* pour la marche arrière.

Les introductions du cylindre détendeur arrière cessent aux points *e* et *f* pour la marche avant, et aux points *e'* et *f'* pour la marche arrière.

Pour les deux sens de la rotation, les positions les plus favorables à la mise en marche sont les points morts et les demi-courses. Lorsque les manivelles sont à 45° sur la ligne des points morts, la machine part difficilement, ou même ne part pas du tout, à cause de la faiblesse du couple moteur, surtout lorsque la manivelle du cylindre avant est dans les environs du point mort haut. Le point mort bas de cette manivelle est la position la plus favorable pour la mise en marche.

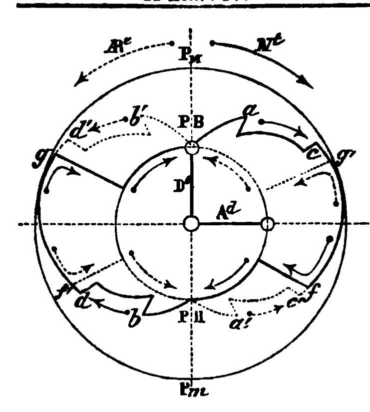
Henri IV. — *Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte points morts à* 90° (*à hélice*), *type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 28_1).

Régulation pour les deux marches.

Introduction	bas	admetteur	0,770
		détendeur	0,780
	haut	admetteur	0,660
		détendeur	0,660
Avances à l'évacuation du cylindre admetteur		bas	0,071
		haut	0,098
Compression dans le cylindre admetteur		bas	0,098
		haut	0,071
Diamètre du cylindre admetteur		d =	0m,800
Diamètre du cylindre détendeur		D =	1m,400
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle =			3,80

De la fin de l'introduction au commencement de l'évacuation, le piston du cylindre admetteur agit à-contre de la marche à produire, et son action doit être retranchée du couple de départ relatif au cylindre détendeur, après l'avoir réduite dans le rapport de d^2 à D^2. — La *fig.* 83 représente les deux couples moteurs de départ de la machine qui nous occupe. La courbe pleine appartient à la marche avant, et la courbe pointillée à la marche arrière. La manivelle du cylindre détendeur a été prise pour index.

Fig. 83. Couples moteurs de départ du *Henri IV*.



Les introductions du cylindre admetteur cessent aux points *a* et *b* lors de la marche avant, et aux points *a'* et *b'* lors de la marche arrière. Les évacuations de ce cylindre commencent aux points *c* et *d* pour la marche avant, et aux points *c'* et *d'* pour la marche arrière. Les introductions du cylindre détendeur commencent aux points *f* et *g* pour la marche avant, et aux points *f'* et *g'* pour la marche arrière. De la fermeture de chacune de ces introductions jusqu'au point mort suivant, le couple moteur de départ est nul.

On voit aisément que les positions de la manivelle du cylindre détendeur les plus favorables à la mise en marche, en avant ou en arrière, correspondent à la demi-course du piston de ce cylindre, le cylindre admetteur étant par suite vers un de ses points morts. — Après la fermeture de l'introduction du cylindre détendeur, le couple moteur de départ est nul, pendant un angle de 50° environ, avant le point mort, et il y a toujours, pour ces régions, un sens de la rotation pour lequel la machine ne peut partir; c'est celui qui amène la manivelle du cylindre détendeur au point mort. Pour éviter cet inconvénient, il existe des tiroirs ou des robinets spéciaux qui permettent d'introduire directement la vapeur dans les orifices du cylindre détendeur, et, par suite, de donner de la vapeur à ce cylindre malgré la fermeture de l'orifice par son tiroir. Il en résulte que le couple de départ se prolonge alors à partir du point *f*, par exemple, pour la marche avant, suivant la courbe qui passerait par les points *c'* et *a'*. — Malgré cette introduction directe dans le cylindre détendeur lui-

même, il peut arriver que la machine ne parte pas si la manivelle de ce cylindre est trop rapprochée du point mort qu'elle doit franchir. Il faut, dans ce cas, renverser la marche et éloigner la manivelle de ce point mort. — C'est d'ailleurs une précaution à prendre en stoppant, que de placer le piston du cylindre détendeur à mi-course; la machine doit alors partir facilement en avant ou en arrière.

Rigault de Genouilly. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout points morts à* **120°** (*à hélice*), *type d'Indret* (n° 31_1).

Régulation pour les deux marches.

Introductions	bas	admetteurs	0,55
		détendeurs	0,55
	haut	admetteurs	0,65
		détendeurs	0,65
Avances à l'évacuation des cylindres admetteurs		bas	0,14
		haut	0,15
Compression dans les cylindres admetteurs		bas	0,16
		haut	0,17
Diamètre des cylindres admetteurs		d =	0m,90
Diamètre des cylindres détendeurs		D =	1m,36
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle.		=	4,80

Dans ce genre de machine, l'arbre de couche a trois vilebrequins; chacun de ces vilebrequins est actionné par les pistons de deux cylindres placés bout à bout, le cylindre admetteur en abord, les pistons étant montés sur une tige commune.

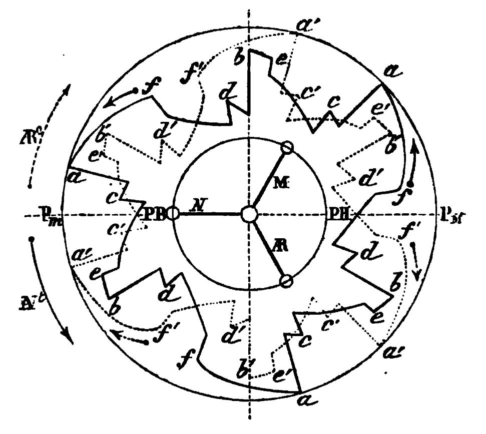


Fig. 84. Couples moteurs de départ du *Rigault de Genouilly.*

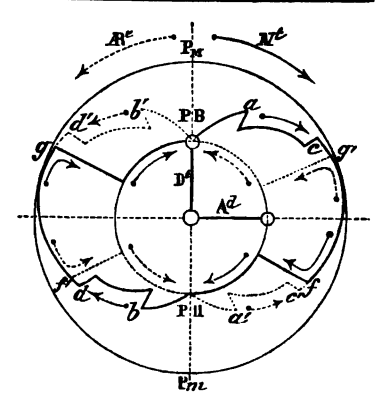
Pour construire le couple moteur de départ, *fig.* 84, il faut défalquer du couple de départ de chaque cylindre détendeur, l'action négative du cylindre admetteur, de la fin de l'introduction à l'ouverture de l'évacuation, et cela, après avoir réduit les données du cylindre admetteur dans le rapport des carrés des diamètres. On fait ensuite la somme des couples des trois cylindres détendeurs, en tenant compte des positions relatives de leurs manivelles. En prenant pour index la manivelle du groupe avant des cylindres, la courbe pleine représente le couple relatif à la marche avant, et la courbe pointillée le couple relatif à la marche arrière.

Régulation pour les deux marches.

Introduction	bas	admetteur	0,770
		détendeur	0,780
	haut . . .	admetteur	0,660
		détendeur	0,660
Avances à l'évacuation du cylindre admetteur		bas	0,071
		haut.	0,098
Compression dans le cylindre admetteur		bas	0,098
		haut.	0,071
Diamètre du cylindre admetteur. . . . . d =			$0^m,800$
Diamètre du cylindre détendeur. . . . . D =			$1^m,400$
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle =			3,80

De la fin de l'introduction au commencement de l'évacuation, le piston du cylindre admetteur agit à-contre de la marche à produire, et son action doit être retranchée du couple de départ relatif au cylindre détendeur, après l'avoir réduite dans le rapport de d^2 à D^2. — La *fig.* 83 représente les deux couples moteurs de départ de la machine qui nous occupe. La courbe pleine appartient à la marche avant, et la courbe pointillée à la marche arrière. La manivelle du cylindre détendeur a été prise pour index.

Fig. 83. Couples moteurs de départ du *Henri IV*.



Les introductions du cylindre admetteur cessent aux points *a* et *b* lors de la marche avant, et aux points *a'* et *b'* lors de la marche arrière. Les évacuations de ce cylindre commencent aux points *c* et *d* pour la marche avant, et aux points *c'* et *d'* pour la marche arrière. Les introductions du cylindre détendeur commencent aux points *f* et *g* pour la marche avant, et aux points *f'* et *g'* pour la marche arrière. De la fermeture de chacune de ces introductions jusqu'au point mort suivant, le couple moteur de départ est nul.

On voit aisément que les positions de la manivelle du cylindre détendeur les plus favorables à la mise en marche, en avant ou en arrière, correspondent à la demi-course du piston de ce cylindre, le cylindre admetteur étant par suite vers un de ses points morts. — Après la fermeture de l'introduction du cylindre détendeur, le couple moteur de départ est nul, pendant un angle de 50° environ, avant le point mort, et il y a toujours, pour ces régions, un sens de la rotation pour lequel la machine ne peut partir; c'est celui qui amène la manivelle du cylindre détendeur au point mort. Pour éviter cet inconvénient, il existe des tiroirs ou des robinets spéciaux qui permettent d'introduire directement la vapeur dans les orifices du cylindre détendeur, et, par suite, de donner de la vapeur à ce cylindre malgré la fermeture de l'orifice par son tiroir. Il en résulte que le couple de départ se prolonge alors à partir du point *f*, par exemple, pour la marche avant, suivant la courbe qui passerait par les points *c'* et *a'*. — Malgré cette introduction directe dans le cylindre détendeur lui-

même, il peut arriver que la machine ne parte pas si la manivelle de ce cylindre est trop rapprochée du point mort qu'elle doit franchir. Il faut, dans ce cas, renverser la marche et éloigner la manivelle de ce point mort. — C'est d'ailleurs une précaution à prendre en stoppant, que de placer le piston du cylindre détendeur à mi-course ; la machine doit alors partir facilement en avant ou en arrière.

Rigault de Genouilly. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout points morts à 120° (à hélice), type d'Indret* (n° 31_1).

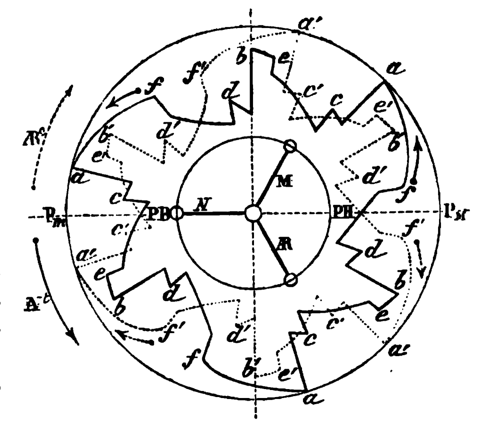
Régulation pour les deux marches.

Introductions	bas	admetteurs	0,55
		détendeurs	0,55
	haut	admetteurs	0,65
		détendeurs	0,65
Avances à l'évacuation des cylindres admetteurs		bas	0,14
		haut	0,15
Compression dans les cylindres admetteurs		bas	0,16
		haut	0,17
Diamètre des cylindres admetteurs		d =	0m,90
Diamètre des cylindres détendeurs		D =	1m,36
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		=	4,80

Dans ce genre de machine, l'arbre de couche a trois vilebrequins ; chacun de ces vilebrequins est actionné par les pistons de deux cylindres placés bout à bout, le cylindre admetteur en abord, les pistons étant montés sur une tige commune.

Pour construire le couple moteur de départ, *fig.* 84, il faut défalquer du couple de départ de chaque cylindre détendeur, l'action négative du cylindre admetteur, de la fin de l'introduction à l'ouverture de l'évacuation, et cela, après avoir réduit les données du cylindre admetteur dans le rapport des carrés des diamètres. On fait ensuite la somme des couples des trois cylindres détendeurs, en tenant compte des positions relatives de leurs manivelles. En prenant pour index la manivelle du groupe avant des cylindres, la courbe pleine représente le couple relatif à la marche avant, et la courbe pointillée le couple relatif à la marche arrière.

Fig. 84. Couples moteurs de départ du *Rigault de Genouilly*.



Les introductions bas des cylindres détendeurs cessent aux points *a* pour la marche avant, et *a'* pour la marche arrière ; les introductions du haut cessent aux points *b* et *b'*. Les introductions bas des cylindres admetteurs cessent aux points *c* pour la marche avant, et *c'* pour la marche arrière ; les introductions haut cessent aux points *d* et *d'*. Les évacuations bas des cylindres admetteurs commencent aux points *e* pour la marche avant, et *e'* pour la marche arrière ; les évacuations haut commencent aux points *f* et *f'*. Nous n'avons pas tenu compte des périodes de compression.

On voit qu'avec ce genre de machine, le couple moteur de départ conserve toujours une certaine valeur, et que la machine doit partir dans toutes les positions que peuvent occuper ses manivelles. Les points de la rotation les plus favorables pour la mise en marche, dans les deux sens de la rotation, correspondent à la demi-course des pistons de l'un quelconque des trois groupes de cylindres, ce qui donne six positions principales. — La manœuvre de ce genre de machine s'effectue sans aucune difficulté.

Tourville. — *Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à quatre paires de cylindres bout à bout points morts à 90° et 180° (à hélice), type des Forges et chantiers de la Méditerranée* (n° 31_2).

Régulation pour les deux marches :

Introductions	bas	admetteurs	0,784
		détendeurs	0,785
	haut	admetteurs	0,796
		détendeurs	0,804
Avances à l'évacuation des cylindres admetteurs		bas	0,075
		haut	0,062
Compression dans les cylindres admetteurs		bas	0,062
		haut	0,075
Diamètre des cylindres admetteur		d =	1m,42
Diamètres des cylindres détendeurs		D =	2m,85
Rapport de la longueur de la bielle à celle de la manivelle		=	4,60

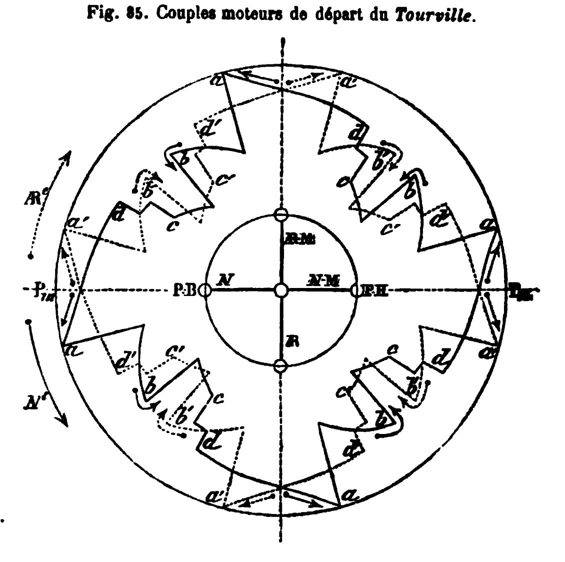
Dans cet appareil, l'arbre de couche a quatre vilebrequins, deux à deux diamétralement opposés, et calés par paires à angle droit. Chacun des vilebrequins est actionné par les pistons de deux cylindres Woolf placés bout à bout, le cylindre admetteur en abord, les pistons étant montés sur une tige commune.

Pour construire le couple moteur de départ, *fig.* 85, il faut défalquer du couple de départ de chaque cylindre détendeur, l'action négative du cylindre admetteur, de la fin de l'introduction à l'ouverture de l'évacuation, après avoir réduit les données du cylindre admetteur dans le rapport des carrés des diamètres. On fait ensuite la somme des couples des quatre cylindres détendeurs, en tenant compte des positions relatives de leurs manivelles. — En prenant pour index la manivelle du groupe avant des cylindres, la courbe pleine représente le couple de départ relatif à la marche avant, et la courbe pointillée le couple relatif à la marche arrière. — Nous avons fait abstraction des différences qui existent pour les introductions de même nom aux divers cylindres,

et, d'autre part, nous n'avons pas tenu compte des périodes de compression pendant lesquelles l'action des cylindres admetteurs est positive.

Les introductions du haut cessent aux points *a* pour la marche avant, et aux points *a'* pour la marche arrière. Les introductions du bas cessent aux points *b* pour la marche avant, et aux points *b'* pour la marche arrière. Les évacuations du haut commencent aux points *c* pour la marche avant, et aux points *c'* pour la marche arrière. Enfin, les évacuations du bas commencent aux points *d* pour la marche avant, et aux points *d'* pour la marche arrière.

Fig. 85. Couples moteurs de départ du *Tourville*.



On voit que dans cette machine, le couple de départ conserve toujours une valeur notable, et que la mise en marche, dans l'un quelconque des deux sens de la rotation, doit pouvoir s'effectuer quelles que soient les positions des manivelles. — Les positions de départ les plus favorables sont celles qui placent deux vilebrequins aux points morts, et les deux autres à 90° de ces points morts. Les positions les moins favorables pour le départ, sont celles qui placent les vilebrequins à 45° sur les points morts, entre *b* et *b'*. Néanmoins, même pour ces dernières positions, la machine doit partir sans difficulté, car le couple moteur a une valeur notable.

Chap. V, § 4. — Compteurs enregistreurs; indicateurs du nombre de tours; indicateurs de la vitesse.

N° 72. — 1. Considérations générales sur les appareils enregistreurs et sur les indicateurs du nombre de tours. — 2. Compteurs enregistreurs du nombre de tours. — 3. Indicateur du nombre de tours, système Madamet. — 4. Indicateur du nombre de tours, système Jacquemier. — 5. Compteur différentiel indicateur de la vitesse système Valessie.

N° 72_1 Considérations générales sur les appareils enregistreurs et sur les indicateurs du nombre de tours. — Pour enregistrer le nombre de tours faits par la machine, on s'est servi, jusqu'à ces derniers temps, de l'appareil Paul Garnier repré-

senté par la *fig.* 3, *pl.* XXVII, et décrit au n° 227_1 du *Grand Traité*. Cet appareil n'est pas exempt de défauts, car il saute souvent, dans les mouvements brusques de la machine, c'est-à-dire que plusieurs chiffres franchissent les fenêtres pour la même impulsion donnée par le levier de manœuvre.

La connaissance du nombre exact de tours que donne la machine dans une minute de temps, est indipensable dans toutes les manœuvres d'escadre, de même que pendant les essais quand on relève les courbes d'indicateur. Or le compteur dont il s'agit est un simple totalisateur, incapable de donner avec précision le nombre de tours dans une minute, car outre les erreurs possibles sur l'observation de la montre, l'enregistrement ne se fait qu'à la période finale d'un tour, et le compteur reste immobile pendant plus de la moitié d'une révolution.

Pour régler l'allure de l'appareil moteur, ou pour compter, pendant les expériences, le nombre exact de tours dans une minute, au moment précis du relevé des courbes, on avait, et l'on a encore le plus souvent recours à la montre ou au sablier. En prenant repère du passage d'une des manivelles aux points morts, on compte, pendant une demi-minute, les demi-tours pour des tours; on peut, de cette façon, apprécier le nombre des révolutions par minute à moins d'un demi-tour près. Ce mode de compter le nombre de tours, outre qu'il est assujétissant et exige une certaine habitude, devient d'un emploi très-difficile pour les machines à grande vitesse. — Pour obvier à ces inconvénients, on a songé depuis longtemps, à installer des appareils indiquant d'une manière permanente ou alternative, le nombre de tours par minute. Mais dans tous les cas, le compteur-enregistreur doit être conservé pour donner le nombre total de tours correspondant à chaque période de fonctionnement, et par suite le nombre moyen de tours par minute correspondant à cette période.

Quant aux indicateurs du nombre de tours par minute, leur mécanisme doit être simple et à l'abri des perturbations que peuvent produire les vibrations de l'appareil moteur ou la température élevée de la chambre des machines. En second lieu, il faut qu'ils indiquent la vitesse avec une approximation au moins égale à celle que donne le comptage à la montre, c'est-à-dire à moins d'un demi-tour près. Nous ne nous occuperons ici que de ceux qui réunissent ces conditions.

N° 72_2 Compteurs enregistreurs du nombre de tours.

— Avec le compteur enregistreur *Paul Garnier* (n° 227_1 du *G^d Traité*), on emploie actuellement dans la marine, deux nouveaux appareils : le compteur *Martin*, et le compteur à mouvement de rotation continue, dit *vélocimètre.*

Compteur double système Martin. — Ce compteur est un enregistreur ordinaire auquel est adjoint un enregistreur du nombre de tours par minute. C'est l'appareil *Paul Garnier* modifié; il est représenté par la *fig.* 17, *pl.* IX; voici en quoi consiste l'installation.

Tout d'abord, les petits linguets à ressort du compteur *Garnier* ont été remplacés par des encliquetages système *Bréguet*, qui assurent une meilleure tenue, surtout dans les accélérations brusques, de sorte qu'un chiffre ne peut franchir la fenêtre devant laquelle il doit stationner. — Pour chacun des ordres du nombre à inscrire, l'axe *a* reçoit son mouvement de celui qui le précède, au moyen d'une roue à rochet *b*, portant 10 dents. Chacune de ces dents est actionnée, aux derniers instants du tour complet de l'axe qui précède, par un doigt *b'*, monté sur le rochet de cet axe. — Une partie de chaque bréguet C est fixe sur le fond de l'instrument; l'autre partie est montée folle sur l'axe *a*. Cette dernière est actionnée par un manchon D, ajusté à frottement doux dans cette partie mobile, et portant deux adents qui s'engagent dans des entailles *c* de cette partie mobile du bréguet. Le manchon D de chaque bréguet est fixé sur l'axe *a* correspondant, et tourne avec lui. Entre ce manchon et la partie mobile du bréguet, se trouve le ressort à boudin *f*, qui ramène l'enclanchement dès qu'une dent du bréguet échappe. Fig. 17, Pl. IX.

Pour remettre le compteur à zéro, il faut faire tourner chaque axe *a* dans le sens de la croissance des chiffres, lequel sens est d'ailleurs indiqué par une flèche. Ce mouvement s'opère au moyen d'une clef que l'on monte sur un carré extérieur de l'axe *a*, et en commençant par l'axe des unités simples.

Le premier axe A, celui des unités, porte, fixée par une goupille, une roue dentée B, actionnant une roue égale B_1 qui fait partie du compteur par minute. Avec la roue B font corps les deux manchons D et D'. Le manchon D fait partie du système des bréguets de l'enregistreur totalisateur. Le manchon D' sert à recevoir du bréguet C', le mouvement d'oscillation qu'une pièce de la machine imprime au levier L qui fait corps avec ce dernier bréguet; ce manchon D' transmet ce mouvement à la roue B et par suite à l'arbre A, et de ce dernier, à tous les rochets du totalisateur. — Quand le levier L oscille de droite à gauche, le bréguet C' est enclanché; le manchon D' est mis en mouvement, et il en est de même de la roue B et de l'arbre A ; les deux parties du premier bréguet C glissent l'une sur l'autre et un nouveau chiffre apparaît à la fenêtre correspondante *e*. Quand le levier L oscille de gauche à droite, les deux parties du bréguet C' glissent l'une sur l'autre et l'arbre A reste immobile, étant maintenu par le bréguet C. — Pour chaque tour complet de l'axe A des unités, le bréguet C' que porte la roue droite B, fait avancer d'une dent le rochet de l'axe des dizaines, et ainsi de suite.

La disposition du compteur par minute est semblable à celle de l'enregistreur, et porte en outre un système de déclanchement. Le mouvement est transmis de l'arbe A à l'arbre A_1, par les roues B, B_1; cette dernière est folle sur son axe A_1, et ne peut l'actionner que par l'intermédiaire du bréguet d'enclanchement C'_1. Ce bréguet présente la même disposition que les autres, et son manchon D'_1 est fixé sur l'arbre A_1. La partie mobile du bréguet C'_1, est actionnée par le levier à fourche L', oscillant autour d'un point fixe, et que l'on manœuvre à la main. Quand la partie extérieure du levier L' est sur l'avant, ce qui est sa position normale à cause de l'action du ressort *f* du bréguet C'_1, les deux parties de ce bréguet sont enclanchées, et le compteur du nombre de tours par minute fonctionne : le mouvement se transmet de la roue B à la roue B_1, du bréguet C'_1 au manchon D'_1, et enfin de ce dernier à l'axe A_1, et de là, à toute la suite des transmissions du compteur supérieur. Au contraire, en poussant l'extrémité extérieure du levier L' sur l'arrière, les deux parties du bréguet C'_1 sont séparées, et l'arbre A_1 n'étant plus actionné, le compteur supérieur ne fonctionne pas.

Lorsqu'on veut compter le nombre de tours par minute, il faut désembrayer le bréguet C'_1, au moyen du levier L', et mettre le compteur à zéro. Ceci fait, on prend un repère de l'heure avec une montre à secondes, et on abandonne le levier L'; l'enclanchement du bréguet C'_1 a lieu et la roue B_1 entraînant alors le manchon D'_1, celui-ci fait tourner l'arbre A_1, et le compteur supérieur fonctionne. Au bout d'une minute, on déclanche le bréguet C'_1, et le nombre de tours que vient de donner la machine pendant cette minute, est inscrit sur le compteur supérieur.

Ce compteur par minute fontionne très-bien pour les machines à très-grande vitesse, donnant 200 tours par minute et au-dessus, et ses indications sont d'autant plus exactes que la vitesse de rotation est plus grande. Mais si la vitesse ne dépasse pas 100 tours par minute, le comptage direct à la montre peut donner des résultats plus exacts.

En raison du mouvement alternatif des roues B et B_1, et du peu de probabilité que l'on abandonne le levier L' juste au moment voulu pour que l'enclanchement du bréguet C'_1 soit complet, la meilleure manière de procéder paraît être la suivante : Enclancher au moyen du levier L', lorsque le levier inférieur L commence l'oscillation qui laisse la roue B au repos, et prendre repère, sur la montre, lorsque ce levier L commence l'oscillation de sens contraire qui doit mettre la roue B en mouvement. Au bout d'un temps très-voisin d'une minute, déclancher vivement le levier L', à la fin de la course du levier L, lorsque ce dernier vient d'actionner la roue B; prendre repère de la position de ce levier L quand la minute exacte se termine, et estimer ce qu'il faut ajouter au nombre inscrit au compteur : savoir, un demi-tour pour chaque oscillation simple du levier L, et un quart de tour pour la moitié de cette oscillation.

Compteur à mouvement continu dit vélocimètre, pour les machines à allure très-rapide. — On emploie quelquefois sur les machines dont l'allure est très-rapide, des compteurs par minute qui présentent la disposition suivante. Les transmissions de mouvement se font au moyen d'engrenages dont le mouvement est continu, au lieu de se faire avec

des rochets à mouvement alternatif. La boîte est d'ailleurs de petites dimensions et se tient à la main. L'axe des unités est prolongé extérieurement, par une partie conique que l'on engage à frottement dans un trou de même forme pratiqué au centre du bout avant de l'arbre. Si le compteur a déjà fonctionné, on inscrit le nombre de tours qu'il accuse; puis on l'embraye avec l'arbre en prenant repère sur la montre. Au bout d'une minute, on enlève le compteur, et la différence entre le nouveau chiffre inscrit et le précédent, indique le nombre de tours fait pendant la dernière minute écoulée. — On peut laisser fonctionner ce compteur pendant deux ou trois minutes si on le désire. Généralement, les chiffres sont accusés sur des cadrans, par des aiguilles montées sur les axes.

N° 72_3 Indicateur du nombre de tours par minute, système Madamet. — M. *Madamet*, ingénieur de la marine, a construit un indicateur du nombre de tours par minute qui est déjà employé sur quelques bâtiments de la flotte, et qui donne de bons résultats. Cet appareil est représenté par la *fig.* 18, *pl.* IX. La légende adjointe à la *pl.* IX donne une description détaillée de tous ses organes.

Cet appareil est basé sur l'emploi de la force centrifuge : un arbre vertical A, muni d'un fort volant en bronze B, et animé d'un mouvement de rotation proportionnel à celui de la machine, entraîne avec lui deux boules C,C, pouvant osciller autour de l'axe D. La force centrifuge des boules C est équilibrée par quatre ressorts à boudin E, égaux deux à deux. En s'écartant de l'axe, les boules font descendre au moyen des bielles F, le manchon G, muni d'une embase 4 sur laquelle reposent les talons *h*,*h* ; ceux-ci sont placés sur des axes fixés à l'extrémité d'un levier à fourche H; ce levier est constamment tiré de bas en haut par la chaîne métallique L, qui s'enroule sur le tambour J ; l'axe de ce dernier porte l'aiguille indicatrice I, mobile sur le cadran où est tracée la graduation de l'instrument. La traction exercée par la chaîne métallique L est produite par un ressort-spiral très faible *l*; son action a pour effet de détruire l'influence des jeux qui existent dans l'ensemble des articulations et qui, sans cette précaution, nuiraient à l'exactitude des indications. Fig. 18, Pl. IX.

Le mouvement de rotation de l'arbre A, lui est communiqué par le levier M, animé par la machine d'un mouvement oscillatoire, et actionnant, au moyen du levier N et des bielles P, P' et des linguets *q*,*q'*, le tambour R muni extérieurement de six longues dents obliques, comme les dents d'un rochet. Dans l'intérieur du tambour R, se trouve un gros ressort-spiral S_1, dont l'une des extrémités est crochée en un point de son pourtour, tandis que l'autre est fixée sur une douille de la roue dentée S; le mouvement de cette dernière est transmis, considérablement amplifié, à l'arbre vertical A, au moyen des engrenages *s*, T et *t*. Grâce à la présence du spiral S_1 et à celle du volant B, le mouvement saccadé du tambour R est transformé en mouvement continu et uniforme de l'arbre A.

La disposition dont nous venons de parler a l'avantage précieux de permettre

la transmission à grande distance. On peut employer à cet effet, des tringles à mouvement de sonnette peur faire actionner le levier M par la machine. Cette transmission est d'ailleurs d'autant plus facile que, d'un tour à l'autre, l'amplitude du mouvement oscillatoire du levier M peut, sans inconvénient, varier dans des limites assez étendues; il suffit, en effet, que les linguets *q,q'* marchent sur le tambour R d'un peu plus d'une dent et d'un peu moins de deux, pour que le rapport des vitesses reste toujours le même.

L'arbre A n'est pas relié d'une manière invariable au pignon *t*; ces deux pièces sont folles l'une sur l'autre, et l'entraînement n'a lieu que par la roue à rochet *t'* faisant corps avec le pignon *t*; cette roue à rochet, en tournant, pousse devant elle les linguets que porte la traverse t_1 qui est clavetée sur l'arbre A. Grâce à cette disposition, la machine motrice peut être stoppée brusquement sans que le volant B, animé d'une force vive considérable, soit arrêté subitement dans son mouvement; il continue alors de tourner pendant quelques instants en faisant échapper les linguets, ce qui ne présente aucun inconvénient, et l'on n'a à craindre aucune des avaries qui, sans cela, se reproduiraient infailliblement dans le mécanisme quelque robuste qu'il fut.

A chacune des extrémités de la course du levier moteur M, le tambour R doit rester immobile; pour éviter qu'à ces moments il ne soit entraîné au delà de sa position normale, on a disposé à sa partie supérieure un frein V, dont les lames mobiles sont rapprochées l'une de l'autre par le ressort *v*. La tension de ce ressort détermine entre les lames et le tambour, un frottement suffisant pour maintenir le tambour R fixe quand il n'est pas poussé par l'un ou l'autre des linguets *q,q'*.

Pour faciliter la lecture des divisions du cadran, il y a intérêt à faire en sorte que chacune d'elles occupe l'espace le plus étendu possible, et par suite à les rendre toutes égales. C'est d'après cette considération que les positions des points d'attache des ressorts E ont été déterminées. Si l'on calcule pour chaque position des boules, quelle tension doivent avoir les ressorts pour réaliser l'égalité des divisions, et si l'on construit une courbe ayant ces tensions pour ordonnées et les allongements correspondants pour abcisses, on trouve que cette courbe se confond très-sensiblement avec deux portions de lignes droites faisant un angle très-grand. Si l'on donne à l'une des deux paires de ressorts une longueur telle qu'elle ne commence à agir qu'à partir du point d'intersection des deux droites, on pourra réaliser d'une manière très-approchée la condition voulue, et les divisions du cadran auront à peu près partout la même longueur.

Dans tous les cas, la graduation des appareils se détermine par la pratique, en les installant sur une machine que l'on fait tourner à diverses allures. L'instrument gradué pour un nombre de tours variant de 10 à 80 par exemple, on peut l'employer pour des allures plus rapides, variant par exemple de 20 à 160 tours; il suffit, pour cela, de réduire de moitié la course du levier moteur M en changeant au besoin ce levier, et on aura le nombre de tours de la machine en multipliant par 2 les indications de l'aiguille sur le cadran. — Lorsque l'instrument est bien réglé, les nombres de tours accusés par l'aiguille sur le cadran sont exacts à moins de un demi-tour près.

Instruction pratique. — Pour terminer ce qui concerne l'indicateur *Madamet*,

nous allons indiquer les moyens de régler l'instrument et de le maintenir en bon état de fonctionnement.

1° *Réglage de la course.* — A chaque extrémité de course les linguets q, q' doivent dépasser les dents correspondantes de 2 à 3 millimètres environ. Moins les linguets dépasseront les dents, mieux cela vaudra.

Il est facile de régler la course des linguets q,q' en effectuant les opérations suivantes :

I. En faisant varier la position de l'extrémité de la la bielle motrice dans l'intérieur de la coulisse pratiquée dans le levier M (ce qui augmente ou diminue la course de ce levier).

II. En faisant varier la longueur de la bielle motrice (ce qui permet d'égaliser le jeu des linguets q,q' aux deux extrémités de la course).

2° *Graissage.* — Les principales pièces frottantes de l'appareil doivent être graissées d'une manière continue au moyen des tuyaux et des godets disposés à cet effet. On aura donc soin que les godets ne soient jamais vides et que les tuyaux ne soient jamais bouchés.

Il sera bon de mettre de temps en temps (une fois par quart par exemple) quelques gouttes d'huile sur le manchon G où n'aboutit aucun tuyau de graissage. La même recommandation est applicable aux articulations des bielles P,P', et au petit godet placé sur le couvercle supérieur de l'instrument.

L'huile employée devra être aussi pure et aussi limpide que possible; on devra la passer préalablement à travers un linge, afin qu'elle ne contienne pas de saletés.

3° *Réglage du ressort et des linguets de la traverse* t_1. — La petite lame d'acier qui passe sur le linguet de la traverse t_1, ne doit être ni trop bandée ni pas assez bandée. Si la bande est trop forte, l'aiguille oscille, ce qui est gênant; si la bande n'est pas assez forte, les linguets échappent presque constamment en faisant entendre un petit bruit très-reconnaissable, et les indications de l'instrument sont alors un peu trop fortes. On devra donc augmenter peu à peu la bande de la lame qui appuie les linguets, en agissant sur les vis 10, *vue* 5°, jusqu'à ce que l'échappement cesse de se produire.

Si l'on a l'occasion de faire marcher la machine à toute petite vitesse (12 à 16 tours par exemple), il convient de régler à cette allure la bande des ressorts de linguets de la traverse t_1, de telle sorte que les linguets soient sur le point d'échapper ou même échappent de temps en temps, à intervalles éloignés. L'appareil ainsi réglé devra bien fonctionner à toutes les allures sans échappement ni oscillation. Si par suite de circonstances accidentelles, l'un ou l'autre de ces phénomènes venait à se produire, il suffirait d'augmenter ou de diminuer légèrement la bande des ressorts.

4° *Recommandations diverses.* — On profitera des relâches du navire pour visiter et nettoyer l'appareil. Pour cela, on commencera par décrocher la petite chaîne métallique L; on retirera le levier H, et on démontera le couvercle supérieur de l'instrument. On retirera alors d'un seul bloc par le haut, l'arbre porte-boules A, et les pièces qui sont fixées sur lui. On pourra alors visiter les divers organes restés dans la boîte et s'assurer qu'ils sont tous en bon état. On enlèvera l'huile crassée qui peut se trouver sur les divers organes, de façon à les rendre bien libres de se mouvoir les uns par rapport aux autres. Cette

recommandation est surtout applicable au manchon G qui doit descendre librement sur l'arbre.

Il ne faut démonter que ce qui est utile pour le nettoyage ; les pivots D,D n'ont pas besoin d'être démontés. Si on les enlève, il faudra avoir soin, en les remettant, de les laisser un peu libres mais pas trop, de façon que la traverse qui porte les boules se meuve librement sans avoir trop de jeu.

Si quelques grippures se produisaient dans les pièces mobiles, on les ferait disparaître ; car elles pourraient, sans cela, donner lieu à des oscillations de l'aiguille.

N° 72_4 Cinémomètre ou indicateur du nombre de tours par minute, système Jacquemier. — Cet appareil qui a déjà été essayé sur plusieurs bâtiments de l'Escadre, où il a donné de bons résultats, est représenté par la *fig.* 19, *pl.* IX, dont voici la légende :

Fig. 19, Pl. IX.

A,B,C,D	rouages d'une montre ordinaire ; le barrillet est en A et l'échappement en D.
E	boîte cylindrique renfermant tout le mécanisme. Les axes des divers engrenages sont portés par la platine du fond de la boîte E. Cette dernière est montée sur un support que l'on peut fixer en un point quelconque de la chambre des machines. Il convient de choisir l'endroit où les vibrations sont peu sensibles.
e	cadran portant une graduation le long de laquelle se meut la pointe de l'aiguille I, indicatrice du nombre de tours.
F	levier actionné par l'arbre de la machine qui lui donne un mouvement d'oscillation à l'aide d'une transmission convenable, formée le plus souvent de petites tringles à mouvement de sonnette.
	cliquet monté à l'extrémité du levier F, et actionnant la roue à rochet G ; ce cliquet est appuyé par un petit ressort. L'oscillation du levier F et le mouvement du cliquet *f* sont réglés pour que la roue à rochet G tourne d'une dent par quart de tour de l'arbre de la machine.
f_1	cliquet d'arrêt qui empêche la roue à rochet G de rétrograder quand elle n'est pas actionnée par le cliquet *f*.
G	roue à rochet montée folle sur l'axe de l'aiguille I.
g	butoir monté sur la roue à rochet G et destiné à pousser le toc *h* fixé sur la roue H.
g_0	arrêt du butoir *g* dans le mouvement rétrograde de la roue à rochet G, sous l'action d'un mécanisme semblable à K,*k*. L'arrêt g_0 est fixé sur la platine E ; il correspond au zéro de la graduation.
H	roue à rochet montée sur l'axe de l'aiguille indicatrice I, et entraînant cette dernière dans son mouvement de rotation.
h	toc monté sur la roue H et au moyen duquel le butoir *g* fixé sur la roue G, fait tourner la roue H et par suite l'aiguille I.
h_1	cliquet d'arrêt, appuyée par un petit ressort, et qui empêche la roue H de rétrograder.
I	aiguille indicatrice du nombre de tours. Cette aiguille est montée sur le même axe que la roue H.
K,*k*	système de rappel rétrograde de la roue H et de l'aiguille I lorsque la vitesse a diminué. Le pignon *k* est monté sur l'axe même de l'aiguille ; le secteur K est contre-tenu par un ressort.
L	came montée sur la roue C qui appartient à la montre, et qui fait un tour en 36 secondes. Cette came est destinée à manœuvrer un levier *m* qui déclanche le cliquet *f*.

l cheville implantée sur la roue C et destinée à déclancher d'abord le cliquet h_1, et plus tard le cliquet f_1, mais lorsque le premier h_1 a été réenclanché.

Fonctionnement de l'instrument. — Prenons l'appareil au moment du départ, l'aiguille I étant à zéro, le butoir g sur son arrêt rétrograde g_0 et le toc h en contact avec le butoir g. Un instant avant, la came L a soulevé le levier m et la cheville l a soulevé les cliquets f_1 et h_1 ; puis tous les cliquets ont été réenclanchés. A chaque double oscillation du levier F, le rochet f actionne la roue G à raison d'une dent par quart de tour de l'arbre, et l'aiguille I s'élève graduellement, puisque la roue H avec laquelle elle est liée est poussée par la roue G, le butoir g et le toc h étant en contact.

La roue C de la montre fait un tour en 36 secondes ; mais au bout de 30 secondes la came L soulève le levier m ; le cliquet f est désembrayé et le mouvement de la roue G est suspendu pendant 6 secondes. La roue H tenue par le cliquet h_1 reste immobile ; il en est de même de l'aiguille I, et cette dernière accuse le nombre des tours faits pendant les 30 secondes qui viennent de s'écouler.

Dès que le cliquet f est désembrayé, la cheville l actionne le levier du cliquet h_1 et désembraye ce cliquet. Actuellement, il n'en résulte aucun mouvement de la roue H, puisque le butoir g et le toc h sont en contact, et que l'aiguille I accuse par suite le nombre de tours des 30 secondes écoulées. Mais si l'instrument fonctionne depuis quelque temps, et que la vitesse ait diminué, le butoir g aura poussé précédemment le toc h, à une distance plus grande que le chemin que vient de parcourir ce butoir h pendant les 30 dernières secondes ; dans ce cas, dès que le déclanchement du cliquet h_1 se produit, le système K,k rappelle la roue H et par suite l'aiguille I en arrière, jusqu'à ce que le toc h vienne en contact avec le butoir g. L'aiguille I se fixe à se moment, en un point qui indique le nombre de tours faits pendant les 30 dernières secondes écoulées. — Si la vitesse avait augmentée au lieu de diminuer, le butoir g serait venu rencontrer le toc h avant le déclanchement du cliquet f, et aurait entraîné ce butoir, et par suite la roue H et l'aiguille I, jusqu'à déclanchement de ce cliquet f. L'aiguille I indiquerait alors, en se fixant, le nombre de tours faits pendant les 30 dernières secondes écoulées.

Pendant le temps d'arrêt de la roue G le cliquet f étant déclanché, la cheville l laisse retomber le cliquet h_1, le toc h étant venu en contact avec le butoir g, et l'aiguille reste immobile. Peu après, la cheville l actionne le levier du cliquet f_1 et déclanche ce cliquet ; la roue G, actionnée par un système semblable à K,k, revient au zéro, et le butoir g vient en contact avec son arrêt g_0 ; dès que ce dernier contact a lieu, la cheville l laisse retomber le cliquet f_1 et ce dernier est de nouveau enclanché.

Tous les mouvement dont il vient d'être question, s'exécutent pendant les 6 secondes de déclanchement du cliquet f. Ce temps écoulé, le cliquet f est de nouveau embrayé, et la roue G recommence son mouvement qui dure encore 30 secondes, et ainsi de suite.

L'exactitude des indications du cinémomètre *Jacquemier* dépend de la durée exacte de la période de mouvement de la roue C, et par suite du plus ou moins d'instantanéité de déclanchement des cliquets. D'autre part, le mouvement

alternatif du levier F peut être une cause d'erreur, en raison des temps d'arrêt, si ce levier ne fait pas un nombre exact de doubles oscillations pendant les 30 secondes du fonctionnement. Mais comme ce levier fait quatre oscillations doubles par tour, n'actionnant le rochet G que d'une dent à chaque oscillation, il en résulte que du chef de ce levier, l'erreur ne peut dépasser un quart de tour. — En somme, tel qu'il est construit, l'appareil dont il vient d'être question, donne la vitesse de la machine à moins d'un demi-tour près.

Cinémomètre à rotation. — Pour les mouvements très-rapides, le système à encliquetage ne convient plus. On emploie alors un système à rotation, qui est d'ailleurs susceptible d'une bien plus grande précision. Le levier F et le cliquet *f* étant supprimés, en conservant le reste du mécanisme, la roue G est actionnée par la machine au moyen d'une transmission par engrenages. Le levier *m* actionne un système d'embrayage et de désembrayage, qui lie alternativement la roue G avec la transmission de mouvement ou bien la rend indépendante. — Cette variante n'a pas encore été appliqué aux machines marines.

Ajoutons pour terminer, que M. *Jacquemier* a installé sur son *cinémomètre*, un système d'enregistreur qui permet de relever un diagramme du nombre de tours pendant une période de fonctionnement d'une durée quelconque.

N° 72_5 Compteur différentiel, indicateur de la vitesse, système Valessie. — Cet instrument est représenté par la *fig.* 20. *pl.* IX; la légende adjointe à cette planche donne une description détaillée de tous ses organes. — Le compteur *Valessie* sert à régler l'allure de la machine pour donner au bâtiment la vitesse du *régulateur de l'Escadre;* il sert à reconnaître le chemin que le bâtiment doit gagner ou perdre pour reprendre son poste lorsqu'il s'en est écarté; enfin, il peut servir à compter le nombre de tours de la machine par minute.

Fig. 20, Pl. IX. Sur un axe principal B_1, qui reçoit le mouvement de la machine par l'intermédiaire de neuf paires d'engrenages doubles *d,d'*,.... est montée et centrée une montre à secondes B. Cette montre tourne en sens contraire du mouvement de son aiguille, cette dernière étant d'ailleurs placée à son centre. Les engrenages doubles *d,d'*,.... que l'on peut embrayer ou désembrayer à volonté, au moyen des touches *e*, permettent d'établir 512 rapports différents entre le mouvement de la machine et celui de la montre. N étant le nombre de tours d'hélice pour un tour de la montre et N' étant le nombre de tours d'hélice par minute, l'aiguille fait dans une minute, un nombre de tours indiqué par $\frac{N'-N}{N}$, et cette aiguille reste par suite immobile lorsque $N = N'$. Pour maintenir la machine à une allure donnée, il suffit d'établir le rapport d'engrenages qui convient à cette allure; puis de manœuvrer la valve pour que l'aiguille reste immobile.

Quand toutes les touches des embrayages sont abaissées, l'axe moteur de

la montre fait un tour pour onze tours de la machine. Or l'aiguille *b* des secondes de la montre fait un tour par minute sur le grand cadran. Si donc la machine fait 11 tours par minute, la montre tournera sur elle-même en sens inverse du mouvement de son aiguille, à raison de 1 tour par minute, et l'aiguille restera dirigée sans cesse vers l'index P porté par le cadran *c*, et que l'on a placé en face de l'aiguille *b* dès que celle-ci est devenue immobile. Si la machine marche à plus de 11 tours par minute, l'aiguille *b* des secondes de la montre va reculer par rapport à l'index P. Si au contraire l'allure de la machine est inférieure à 11 tours, immédiatement l'aiguille des secondes va avancer par rapport à l'index.

Cette avance ou ce retard de l'aiguille de la montre par rapport à l'index, indique d'abord que le navire est en arrière ou en avant du poste qu'il devait conserver; le nombre des secondes de retard ou d'avance de l'aiguille de la montre par rapport à l'index, indique (sinon avec une rigueur mathématique, du moins d'une façon très-suffisante pour la pratique) de combien de secondes de marche, à l'allure commandée, le navire est en retard ou en avance; de sorte qu'il suffit au mécanicien d'accélérer momentanément ou de retarder l'allure de sa machine, de façon à ramener l'aiguille *b* des secondes vis-à-vis l'index P, pour que, par cela même, le navire ait repris son poste, et qu'à partir de ce moment il n'y ait plus qu'à maintenir la fixité de l'aiguille des secondes vis-à-vis de l'index.

Pour que l'instrument ait toute l'application voulue, il faut évidemment que ce que nous venons de dire pour l'allure de 11 tours de la machine puisse se pratiquer pour toute autre allure commandée. C'est à cet effet que l'instrument a été muni des engrenages $d, d', \ldots$ à multiplications variables de vitesse. Chacun de ces neuf systèmes d'engrenages intermédiaires multiplie le nombre de tours de la machine par rapport à celui du plateau porte-montre, par un des neuf termes d'une série :

$$(1+d)^1, (1+d)^2, (1+d)^4, (1+d)^8, (1+d)^{16}, \ldots, (1+d)^{256};$$

et, en combinant de toutes les façons possibles les neuf facteurs de cette série, on obtient 512 combinaisons différentes.

M. *Valessie* a adopté, pour la valeur de d, un nombre tel, que le terme $(1+d)^8$ soit égal à $\frac{31}{30}$, ce qui fait que la série précitée devient :

$$\left(\frac{31}{30}\right)^{\frac{1}{8}}, \left(\frac{31}{30}\right)^{\frac{1}{4}}, \left(\frac{31}{30}\right)^{\frac{1}{2}}, \left(\frac{31}{30}\right)^{1}, \left(\frac{31}{30}\right)^{2}, \left(\frac{31}{30}\right)^{4}, \left(\frac{31}{30}\right)^{8}, \left(\frac{31}{30}\right)^{16}, \left(\frac{31}{30}\right)^{32} \ldots$$

Un tableau, calculé à l'avance et placé en évidence dans la machine, à côté de l'instrument, met en regard des 512 combinaisons qu'on peut obtenir par l'emploi combiné de ces neuf facteurs, le nombre de tours correspondant de la machine pour un tour de la montre, et ces nombres de tours ne diffèrent de l'un à l'autre, pour deux combinaisons successives, que de 1/10 de tour pour une allure de 24 tours; de 2/10 pour une allure de 48 tours; enfin de 5/10 de tour pour une allure de 72 tours.

Dans ce même tableau sont inscrits, vis-à-vis du nombre de tours de la m chine correspondant à 1 tour de la montre, les exposants des termes de série précitée qu'il faut mettre en jeu simultanément, de sorte que, chaqu touche des neuf embrayages portant l'indication de l'exposant du facteur, mécanicien n'a de suite qu'à embrayer les numéros indiqués dans le tablea pour obtenir la relation voulue entre les nombres de tours.

Il suffit même que le tableau porte la somme des exposants des facteurs mettre en jeu, pour que le mécanicien puisse en conclure immédiatemen quelles sont les touches des embrayages à faire agir pour obtenir cette somm d'exposants indiquée. On remarquera encore que tous les exposants des terme de la série précitée sont des multiples entiers du nombre 8. Le numéro indica teur des touches et le nombre du tableau correspondant à tel ou tel nombr de tours de la machine, peuvent donc être exprimés en nombres entiers de huitièmes, ce qui facilite encore l'opération du mécanicien.

Les explications qui précèdent et la légende de la *fig.* 20, adjointe à la *pl.* IX, suffisent pour faire comprendre le mode de fonctionnement de l'instrument. Nous allons donner maintenant, quelques explications sur son emploi.

Poste de la machine. — On appelle *poste* la graduation 60 du limbe mobile c, parce que l'index P situé au-dessous sert à marquer le poste de la machine, et que le repère situé au-dessus sert à lire la graduation correspondante du limbe extérieur fixe. La position du poste s'indique par le nombre de secondes lues sur le limbe fixe C. Ainsi, la machine est à son poste à 60, où à l'index P, celui du milieu, ou bien elle est à 3, 4, 5,.... etc., ou bien en avance de 3, 4, 5,.... etc, secondes, ou bien encore à 57, 56, 55,.... etc., ou en retard de 3, 4, 5,.... etc. secondes.

Les index latéraux à droite et à gauche de l'index P, servent à faciliter la lecture des nombres 5, 10,.... 55, 50, etc.

En réalité, on peut prendre pour poste un point quelconque du cadran mobile *c*, lorsqu'on est pressé pour changer l'allure de la machine; cependant comme il faudra toujours avoir présent à l'esprit ce nouveau point, il est mieux de déplacer le cadran mobile pour garder 60 comme poste.

Quand la différentielle est en retard ou en avance depuis quelques instants, et que l'on veut la ramener au poste, sans changer la vitesse de la machine, on n'a qu'à affoler le plateau porte-montre, en manœuvrant la touche e_1, et attendre que la différentielle *b* soit au poste pour embrayer de nouveau le plateau.

Nombre de tours de l'hélice. — La différentielle paraissant immobile, l'hélice fait par minute le nombre de tours indiqué par le rapport d'engrenages. Soit $\frac{N}{1}$ ce rapport ; si l'on avance le poste en ajoutant *t* secondes à la graduation qu'il occu e, la machine se met en avance de $\frac{N'}{1} \times \frac{t}{60}$ ou de *t* secondes de marche

normale, et le mouvement horaire du cadran de la machine se met en avance de t secondes.

Exemple : la machine donne 40^t et la différentielle est en avant du poste de 5 secondes; l'hélice a gagné $\frac{40 \times 5}{60} = 3^t,3$, c'est-à-dire que depuis le moment où la différentielle s'est mise en avance, la machine a fait $3^t,3$ de plus que le nombre total de tours qui correspond à la marche normale.

Si la différentielle est en avance de t secondes, et si le poste *n'a pas été changé*, l'heure lue sur le *cadran de la machine*, le cadran h, est en avance de t secondes, et on aura exactement l'heure en la corrigeant de l'avance accusée par la différentielle.

Position du navire. — Lorsque le vent et la mer n'influent pas sur la marche du navire, son *poste* est le même que celui de la machine. Peu importe que la différentielle s'écarte un peu à droite ou à gauche du *poste*, pourvu qu'on ne la laisse pas s'immobiliser dans cette position anormale; la masse du navire atténuant les effets de cette irrégularité passagère, on peut être assuré que le navire sera toujours extrêmement près de la position qu'il occuperait si la machine marchait avec uniformité. Donc en changeant le poste, on changera pareillement la position moyenne du navire. Lorsqu'on effectuera un de ces changements, il faudra nécessairement, pour juger l'effet, que le navire ait repris sa vitesse normale. En effet, lorsque la différentielle effectue un mouvement d'avance ou de recul, le navire, retardé par sa masse, ne la rejoint qu'après un certain temps d'immobilité de cette différentielle.

Aucune expérience précise n'a été faite jusqu'à ce jour pour déterminer la perte que doit produire l'irrégularité de marche, et celle que doit produire la variation de l'*avance moyenne qui diminue un peu à mesure que la vitesse augmente.* — On peut considérer ces pertes comme nulles jusqu'à ce qu'on ait une base d'estimation fondée sur une expérience rigoureuse.

Si la marche du navire est augmentée par l'action du vent, la machine a moins d'influence, et on devra augmenter le nombre de secondes pour gagner ou perdre la même distance. — L'état de la mer devra aussi être pris en considération. Mais quelles que soient les circonstances, il est toujours facile d'estimer en peu de temps :

1° S'il convient d'augmenter ou de diminuer la valeur de la seconde;

2° S'il convient d'ajouter ou de retrancher un nombre fixe à chaque opération d'une durée plus ou moins longue.

Des commandements. — Toutes les fois qu'après avoir marché irrégulièrement on veut prendre immédiatement la vitesse normale, le mécanicien doit mettre le *poste* en regard de la différentielle. L'expression *en route* semble convenir à cette manœuvre et peut lui être réservée.

Pour éviter toute erreur, il suffit de commander *tant de tours* ou *tant de huitaines et tant de huitièmes;* si le numéro n'est composé que d'unités, on ajoutera : *zéro huitième.*

Les anciens commandements : *le plus vite possible*, *plus vite*, *doucement*, *plus doucement*, *un peu plus vite*, etc., doivent être exécutés sans déranger les touches et le poste, afin qu'on puisse reprendre ultérieurement la position

précédente, au commandement : *revenez au poste;* ou qu'on puisse à volonté modérer ou accélérer un mouvement d'avance ou de recul.

Lorsqu'on veut accélérer ou retarder la marche pour quelques instants, on dit : *gagnez ou perdez tant de secondes.* Le mot *rapidement* est généralement ajouté, mais il ne doit pas obliger le mécanicien à ouvrir ou à fermer brusquement le registre. Il est au contraire avantageux, à tous les points de vue, de faire ces opérations progressivement et avec une certaine lenteur, 5 à 30 secondes, suivant la grandeur du changement de vitesse.

Marche intermittente, usitée pour les manœuvres de rade, les ralliements en temps de brume, etc.

1° *Régler le compteur à tant de tours ou à tel numéro.* — Pour régler le compteur, on baisse ou on lève sans effort les touches numérotées dont les indications paraissent ou disparaissent. La somme des nombres que l'on voit sur les indicateurs, est le numéro de la combinaison d'engrenage ou de la vitesse normale de la machine.

2° *Tant de tours en avant ou en arrière.* — Chaque *seconde* du cadran *h* de la machine vaut 1 tour du plateau porte-montre et par suite $\frac{N}{I}$ tours d'hélice. Le nombre N est déterminé par la transmission de mouvement de l'arbre de la machine à l'arbre F de l'instrument.

3° *Tant de secondes en avant ou en arrière.* — Ces secondes sont comptées sur le cadran *h* de la machine.

Marcher régulièrement. — Dès que le commandement est fait, le vaisseau étant estimé être à son poste, il faut mettre le poste en regard de la différentielle. En gouvernant le registre de manière à maintenir la différentielle à son poste, on obtient que la machine fasse à peu de chose près le même nombre de tours par minute, et un nombre de tours moyen égal à celui du tableau.

Tenir son poste. — Si l'escadre n'évolue pas, il est commode de régler l'heure de la machine sur celle du bord, de rejoindre son poste toutes les fois que l'on pique l'heure, et d'évaluer en fractions de minute les changements de poste réalisés pendant la demi-heure écoulée. Si l'on a dû, pour tenir son poste, gagner 25 secondes, ou environ 3/8 de minute, il conviendra, dans les mêmes circonstances de navigation, d'ajouter 3/8 au numéro des touches d'embrayage en jeu, pour rectifier la vitesse normale.

En dehors de ces circonstances, toutes les fois qu'on aura été obligé de gagner pour la *deuxième* fois plus de 4 secondes en moins d'une demi-heure, il conviendra d'ajouter 1/8, et d'ajouter encore 1/8 chaque fois qu'on sera obligé de recommencer le mouvement de même sens. Les manœuvres de voiles changent souvent le coefficient de marche et rendent ces rectifications nécessaires.

Évoluer ou changer de poste. — 1° Compter en secondes le chemin à perdre ou à gagner ; inscrire le résultat définitif pour chaque évolution. — 2° Réaliser immédiatement la vitesse d'évolution, voir à quelle distance on reprend la vitesse normale, et à quelle distance il aurait fallu la prendre. — On peut ainsi dresser un tableau indiquant avec une assez grande approximation la mesure de l'*erre* qui donne tant de tours ou d'unités à la vitesse de tant de tours ou de tel numéro.

Marche périodiquement régulière. — Si l'on navigue isolément ou sans s'as-

treindre à tenir le poste, on peut mettre les aiguilles de la machine à l'heure du bord ou à l'heure de la montre du compteur, et mener ensuite les feux de manière à rectifier périodiquement l'heure de la machine.

Naviguer régulièrement. — Pour obtenir ce résultat, on se servira des tableaux sur lesquels la vitesse en nœuds est écrite à côté des numéros des touches ; par exemple, la vitesse étant de 10 nœuds, si elle tombe à 9nd,6 en ajoutant le nombre 1/8 correspondant à $\frac{100}{96}$ ou $\frac{50}{48}$ lu en tours sur le tableau, on maintiendra ainsi la vitesse aussi exactement que possible.

Chercher la vitesse de la machine. — Pour avoir la vitesse d'une machine marchant en liberté, on réglera le compteur sur la machine en manœuvrant les touches de la manière suivante :

Lever la touche 40 ; si la différentielle marche encore dans le sens de l'avance, lever la touche 20, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on voit la différentielle marcher en sens inverse. Si la touche 1 a produit ce résultat, la baisser pour lever 4/8 et ainsi de suite. On tient ensuite la différentielle au poste en ajoutant 1/8 toutes les fois qu'elle avance, et en retranchant 1/8 toutes les fois qu'elle recule. Puis on cherche dans le tableau, à côté du nombre formé par les numéros des touches, le nombre de tours qui y correspond ; c'est précisément le nombre de tours cherché.

Remonter la montre une fois par jour. — Pour cela, lever préalablement la touche e_1, qui facilite l'extraction de la montre en affolant le pivot. Saisir le boîtier de la main gauche pour le maintenir pendant que l'on retire la montre avec la main droite, en appuyant et tournant ensuite à gauche. — Ensuite remonter la montre. — Pour toucher l'aiguille de l'avance, enlever le couvercle inférieur, et le remettre ensuite bien en place, en emprisonnant le remontoir.

Visite des engrenages. — Dévisser les trois boutons qui retiennent la plaque opposée aux touches, nettoyer avec une brosse ou un pinceau les parties frottantes du mécanisme et les toucher avec une très-faible quantité d'huile d'horlogerie. — En replaçant la plaque, faire coïncider les points de repère. — La visite n'est utile qu'après un ou plusieurs mois. Le démontage est facile ; mais il n'est utile qu'au bout d'un temps fort long, qui dépend des soins donnés à l'instrument.

Examiner l'appareil de transmission. — La transmission de mouvement de la machine est bien établie lorsqu'en touchant alternativement le verre de la montre et la plaque supportant le compteur, on ne sent pas de différences dans les trépidations.

CHAPITRE VI.

CONDUITE ET ENTRETIEN DES APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION.

Chap. VI, § 1er. — Combustibles.

N° 73. — 1. Combustibles actuels; agglomérés. Résultats des essais. — 2. Épreuves de calcination et d'incinération. — 3. Appareil Orsat pour analyser la fumée.

N° 73$_1$ Combustibles actuels. — La question des combustibles a été traitée aux nos 164, 165 et 166$_{1 \text{ et } 2}$ du *Gd Traité*. Nous y ajouterons quelques nouveaux renseignements.

La classification des combustibles minéraux repose sur leur composition élémentaire et sur l'ensemble de leurs propriétés dans les arts; mais il est très-difficile, à première vue, d'établir la distinction entre certaines variétés de lignites, de houilles et d'anthracites; l'emploi de réactifs peut seul guider en pareil cas. Le tableau suivant donne, enmême temps que la composition élémentaire et les caractères généraux des combustibles, l'action des réactifs employés.

Agglomérés. — Lorsque les combustibles sont destinés à subir de nombreuses manipulations, comme ceux dont on fait usage en marine, une bonne cohésion est une chose très-importante et très-recherchée. Or, certains combustibles ont une bonne cohésion à leur sortie de la mine, et une longue exposition à l'air, ou un séjour prolongé dans les soutes, suffit pour les rendre friables, et les réduire en poussière au moindre choc. Dans ces conditions, ils perdent une portion notable de leur pouvoir calorifique et ils exposent à des combustions spontanées.

Dans la plupart des houillières françaises, la proportion des menus est très considérable par rapport à la quantité de houille extraite; aussi, a-t-on été conduit depuis longtemps à rechercher les moyens d'utiliser avantageusement

ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX.

Combustibles.	Densité.	Composition élémentaire p. 100. Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Action des réactifs. Potasse.	Acide azotique.	Chlorure de chaux.	Distillation en vase clos. Coke ou charbon.	Matières volatiles.	Calcination à l'air pendant 8 minut.; porte en matières volatiles pour 100.	Combustion.	Cendres.
Anthracites	1,34 à 1,46	92 à 95	2 à 3	3 à 4	Sans action.	Action très lente ; ne commence qu'après 6 heures de contact.	Sans action.	Pulvérulent ou compacte, suivant que l'anthracite est dans l'un ou l'autre cas.	Presque nulles.	5 à 10	Brûlent presque sans flamme ni fumée ; s'allument difficilement.	Presque nulles.
Houilles	1,25 à 1,30	75 à 90	5 à 6	6 à 18	Sans action.	Action lente; ne commence qu'après 2 heures de contact.	Sans action.	Coke dur, poreux, boursouflé.	Matières bitumineuses, gaz inflammable, eau ammoniacale.	20 à 40	Brûlent avec flamme ; fumée noire ; se boursouflent.	Mélangées de scories.
Lignites parfaits.	1,18 à 1,30	70 à 75	2 à 5	2 à 5	Sans action.	Dissout complétement le combustible.	Dissout complétement le combust.	Coke fritté et léger.	Bitumineuses, peu de gaz inflammable.	45 à 50	Fumée très-épaisse; flamme claire et longue.	Sensiblement mélangées de scories.
Lignites bois fossile.	0,8 à 1,0	54 à 61	4 à 5,7	25 à 36	Détermine la présence de l'acide ulmique.	Dissout presque complétement le combustible.	Dissout en partie le combustible.	Analogue au charbon de bois.	Huile foncée, d'une odeur forte, désagréable.	55 à 65	Peu de fumée ; flamme claire et jaune.	Comme le bois dur.

ces menus. Le procédé qu'on emploie partout dans ce but, consiste dans la fabrication des *agglomérés*. L'usage de ce produit se répand de plus en plus et la fabrication des agglomérés, qui a pris naissance en France, s'est développée avec une rapidité suffisante pour répondre à tous les besoins. Les opérations que subissent les charbons pour être agglomérés, améliorent leurs qualités; et actuellement, les agglomérés sont préférés aux charbons en roche.

Les agglomérés ont habituellement la forme de parallélipipèdes rectangles à angles arrondis, que l'on nomme *briquettes*. Ces briquettes sont formées de houilles en poussière ou menues, agglutinées sous forte pression, à l'aide d'un ciment, combustible lui-même. — Grâce à l'agglomération, non-seulement les houilles en poussière ont pu être utilisées pour les chaudières à vapeur, et transformées en charbon de première qualité ; mais les houilles en couches minces alternées avec des couches de schistes ont pu être très-avantageusement utilisées; il a suffi pour cela de les débarrasser, par un lavage, des éléments étrangers. Par ce procédé, les charbons des diverses variétés, transformés en agglomérés, ont acquis une grande valeur commerciale.

La fabrication des agglomérés comprend trois opérations principales. La première opération consiste dans la séparation des menus d'avec le charbon en roches de grosseur suffisante pour être employé tel quel, et dans le mélange des diverses qualités de charbon. Tout ce qui passe à travers la grille de 3 à 5 centimètres de mailles, convient à la fabrication des agglomérés; ce qui ne passe pas à travers ces mailles, peut être employé à l'état naturel. — Les menus sont ensuite séparés du poussier à l'aide de tamis en toile métallique à mailles très-rapprochées, et un lavage mécanique permet d'amener les deux produits du vannage à un grand degré de pureté. Les menus d'un volume appréciable sont ensuite soumis au broyage entre deux cylindres, dont l'un est cannelé et l'autre uni; on obtient ainsi du charbon en grains.

La deuxième opération consiste dans l'agglutination du charbon en grains et du poussier, à l'aide d'une des trois substances suivantes: le *goudron*, le *brai gras*, c'est-à-dire le goudron débarrassé d'environ 25 p. 100 de matières volatiles, et le *brai sec*, c'est-à-dire le goudron débarrassé de la moitié environ des matières volatiles qu'il contient.

Les deux premières substances sont aujourd'hui à peu près complétement abandonnées; elles communiquaient aux agglomérés une odeur bitumineuse prononcée; leur combustion était accompagnée d'un développement de fumée très-épaisse et d'une formation de suie engorgeant rapidement les courants de flamme. L'agglutination du charbon en grains ou en poussier, se composant de 0,75 de charbon maigre et de 0,25 de charbon gras, avec 8 p. 100 de brai sec, donne des briquettes très-appréciées. Fabriqués dans ces conditions, les agglomérés ne se ramollissent pas à la chaleur de 50°, et conservent une bonne cohésion si on la leur a donnée au moulage. Le *malaxage*, on mélange du charbon avec le brai sec préalablement broyé, s'effectue à chaud, au moyen d'un courant de vapeur d'eau.

La troisième opération comprend la compression du mélange dans des moules ermés ou dans des moules ouverts. Les appareils à moules fermés, dus à MM. *Marsais*, *Mazeline* et *Révolier*, permettent de porter la pression jusqu'à 150 atmosphères; ce sont les appareils le plus généralement employés. Chaque échan-

tillon de briquette est d'un poids variant de 5 à 10 kilog., et il est important que le degré de compression auquel sont soumises les briquettes, ne soit pas inférieur à 40 ou 50 kilog. par centimètre carré de surface, car au-dessous de ce chiffre, toutes choses égales d'ailleurs, la briquette perd beaucoup de ses qualités.

Arrimés à la main, les agglomérés ont un poids à l'encombrement considérable, ce qui est un avantage précieux pour la marine.

Outre cet avantage, il est reconnu que, comparativement au charbon en roches de même provenance que les menus qu'on a fait entrer dans la composition des briquettes, ces dernières présentent les avantages suivants : 1° allumage plus rapide ; 2° production de vapeur un peu plus abondante et plus uniforme ; 3° combustions spontanées beaucoup moins fréquentes ; 4° corrosion des chaudières par les gaz sulfureux nulle si le lavage a été bien fait.

Les briquettes sont acceptées par la marine militaire dans les conditions suivantes :

« Les agglomérés devront être durs, sonores, homogènes, peu hygrométriques, à peu près dépourvus d'odeur ; ils seront fabriqués avec des menus de bonne qualité, au moyen de l'adjonction de 8 p. 100 de matière agglomérante. Cette dernière substance sera le brai sec, c'est-à-dire le résidu du goudron dont on a enlevé 40 p. 100 de matières volatiles.

« Le poids des agglomérés ne dépassera pas 8 kilog., leur densité moyenne ne devra pas être inférieure à 1,19, et dans aucun cas le menu provenant des brisures ne pourra dépasser 5 p. 100.

« Les briquettes devront s'allumer facilement et brûler avec une flamme vive et claire, sans se désagréger au feu, et en ne produisant qu'une fumée grise et légère. Elles ne devront pas être inférieures, sous le rapport de la quantité d'eau vaporisée par kilog. de combustible, aux charbons naturels de bonne qualité, et la proportion des cendres et des résidus ne devra pas dépasser 9 p. 100. »

Résultats des essais des charbons. — Depuis une vingtaine d'années, de nombreuses expériences ont été faites dans nos ports pour rechercher les houilles françaises susceptibles d'être acceptées par la marine, et pour déterminer les valeurs relatives de ces diverses houilles. Dans le principe, les qualités des produits de nos houillières étaient peu connus, et les commissions de recette établies dans les cinq ports faisaient procéder à de nombreuses expériences à la chaudière d'essai (n° 166_2 du *G[d]. Traité*). Ces expériences ont été continuées jusqu'en 1872, chaque fois qu'un charbon était admis en recette ; mais une dépêche ministérielle en date du 17 juin 1872 a prescrit de les réduire dans de fortes proportions, parce que les documents recueillis sont maintenant suffisants pour éclairer sur la valeur des combustibles français. On se contente de faire de fréquentes épreuves de calcination, d'incinération et de cohésion ; les épreuves à la chaudière d'essai ne se font que de temps en temps, tous les trois mois environ, ou lorsque des combustibles nouveaux non expérimentés sont expédiés à l'essai.

Le tableau ci-joint donne les résultats moyens des essais faits dans les ports sur les charbons de diverses provenances.

TABLEAU DES RÉSULTATS MOYENS DES ESSAIS FAITS DANS LES I

ÉTAT DES CHARBONS.	NOMS et provenance des charbons.	CARACTÈRES DES CHARBONS. Densité.	Poids à l'encombrement d'un mètre cube.	Cohésion.	STRUCTURE et aspect.
			kilog.		
En roches.	Cardiff (anthracite anglais)	1,35	870	0,45	Grains noirs brillants.
	Newcastle (anglais). . . .	1,27	800	0,57	Lamelleux, noir brillant.
	Roche-la-Mollière (franç.)	1,31	825	0,61	Compacte. Séparation des (ches peu marquée.
	Blanzy (français). .	1,36	816	0,47	Stratification nette, plate et à couches épaisses.
	Brassac — . .	1,31	830	0,47	Cassure d'un noir brillant vitreux. Le plan de sépa tion des couches est d noir terne.
	Anzin — . .	1,20	851	0,34	Beaucoup de ressemblan avec le Cardiff.
	Bruay — . .	1,22	817	0,47	Compacte; couches de str fication épaisse.
	Nœux — .	1,26	826	0,47	Homogène; grande analo avec le Cardiff.
	Carvin — . .	1,23	801	0,45	Grande analogie avec le C diff.
	Rocher-Bleu — . .	1,25	625	0,67	Lignite à contexture plate
	Trélys — . .	1,35	700	0,50	Aspect légèrement gras.
Agglomérés.	Anzin — . .	1,21	697	0,55	Assez durs, gros grains u formes.
	St-Étienne — . .	»	721	0,26	Forme cylindrique, context molle et pâteuse.
	La Grand'Combe — . .	1,22	»	0,36	Très-friables.
	Graissessac — . .	1,25	»	0,29	Très-mous.
	Portes et Sénéchas (franç.).	1,22	680	0,47	Homogènes très-résistants
Mélanges par moitié.	Anzin et Fiennes (franç.).	»	845	»	»
	Carvin et Bruay — . .	»	817	0,45	»
	Bruay et Anzin — . .	»	810	»	»
	Anzin et Brassac — . .	»	824	0,45	»
	Anzin et Roche-la-Mollière (francais).	»	826	0,47	»
	Anzin et Blanzy (français).	»	828	0,44	»
	Cardiff et Newcastle (angl.).	»	844	0,57	»

…LES CHARBONS EMPLOYÉS A LA NAVIGATION.

RÉSULTATS OBTENUS A LA CHAUDIÈRE D'ESSAI.							REPÈRES.
QUANTITÉ D'EAU VAPORISÉE PAR KILOGRAMME DE CHARBON.		CHARBON BRULÉ PAR HEURE ET PAR MÈTRE CARRÉ DE GRILLE.		PUISSANCE calorifique pratique.	CENDRES, MACHEFER ET ESCARBILLES.		
Tout venant.	En roches.	Feux poussés.	Feux retenus.		Tout venant.	En roches.	
kilog.	kilog.	kilog.	kilog.	calories.	p. 100	p. 100.	
7,500	8,300	115	90	5.300	17,0	6,0	1
6,300	6,875	132	112	4.400	9,0	7,2	2
6.825	7,550	118	99	4.830	8,3	7,5	3
6,200	6,600	148	133	4.030	10,5	10,0	4
7,100	7,300	129	118	4.670	19,0	14,0	5
7,200	8,700	115	98	5.550	10,0	6,0	6
6,620	7,220	160	122	4.625	4,0	3,5	7
8,360	8,080	108	93	5.320	9,0	7,9	8
8,160	8,320	112	103	5.350	7,1	6,0	9
»	5,480	168	145	3.560	6,9	6,7	10
»	8,200	96	»	5.225	»	11,0	11
»	8,430	122	98	5.360	»	7,0	12
»	8,100	112	96	5.180	»	7,0	13
»	8,700	107	97	5.550	»	9,0	14
»	8,700	112	92	5.550	»	8,3	15
»	8.670	112	98	5.540	»	9,5	16
»	7,600	114	»	»	»	7,9	17
7,730	»	115	»	»	»	8,2	18
»	8,120	113	»	»	»	4,6	19
»	8,250	113	»	»	»	10,7	20
»	7,720	115	»	»	»	9,7	21
»	7,380	128	»	»	»	9,3	22
»	7,470	110	»	»	»	6,4	23

TABLEAU DES RÉSULTATS MOYENS DES ESSAIS FAITS DANS LES P(

REPÈRES.	MODE D'EMPLOI DES CHARBONS ET CARACTÈRES QU'ILS PRÉSENTENT EN BRULANT			
	Allumage.	Tirage nécessaire.	Effets sur la grille.	Aspect de la flamme et de la fumée.
1	Lent.	Un peu fort.	Ne s'agglutine pas.	Flamme blanche ; peu de fumée.
2	Très-facile.	Modéré.	Ardent.	Flamme longue ; fumée noire.
3	Assez facile.	Très-modéré.	Se coagule et pétille.	Flamme vive et longue ; fumée gris épaisse au moment de la charge.
4	Facile.	Modéré.	Ne se coagule pas, pétille.	Flamme longue colorée ; fumée d'un gris noir, assez épaisse.
5	Facile.	Très-modéré.	Ne se coagule pas.	Flamme longue et vive ; très-peu de fumée
6	Assez difficile	Fort.	Ne se coagule pas.	Flamme longue et vive ; peu de fumée.
7	Très-facile.	Modéré.	Ne se coagule pas.	Flamme vive, longue et colorée ; fumée noire, épaisse en chargeant.
8	Assez difficile	Fort.	Se coagule et pétille.	Flamme longue ; fumée noire assez épaisse au début, puis disparaît.
9	Difficile.	Fort.	Ne se coagule pas, pétil[le].	Fl. courte peu colorée ; très-peu de fumée.
10	Très-facile.	Faible.	Très-ardent.	Flamme peu vive.
11	Lent.	Assez fort.	Beaucoup de crasse collant fortement.	Flamme longue ; fumée abondante.
12	Facile.	Assez fort.	Se coagule peu, ne crasse pas.	Flamme longue colorée ; fumée gris-noir assez épaisse au début, puis disparaît.
13	Facile.	Assez fort.	Se coagule un peu.	Flamme longue ; fumée noire au moment de la charge, disparaît peu à peu.
14	Difficile.	«	Crasse beaucoup.	Flamme courte ; fumée abondante.
15	Facile.	Assez fort.	Légère crasse, peu adhérente.	Flamme vive et longue ; fumée noire.
16	Assez facile.	Modéré.	Brûle lentement.	Flamme courte ; fumée grise épaisse.
17	Facile.	Faible.	Moyennement ardent.	Flamme longue ; fumée noire.
18	Assez facile.	Modéré.	Se coagule.	Flamme longue ; fumée grise et épaisse.
19	Assez facile.	Faible.	Ardent, peu de crasse.	Flamme vive ; fumée grise.
20	Facile.	Fort.	Ardent.	Flamme assez longue ; fumée peu colorée.
21	Difficile.	Fort.	Peu ardent.	Flamme courte ; fumée noire.
22	Facile.	Modéré.	Assez ardent, peu de crasse.	Flamme longue ; fumée peu colorée.
23	Facile.	Assez fort.	Assez ardent, peu de crasse.	Flamme longue ; fumée grise peu abondante.

…ES CHARBONS EMPLOYÉS A LA NAVIGATION (*Suite*).

Encrassement des tubes.	Épaisseur de la couche.	OBSERVATIONS.
	cm.	
Presque nul.	10	Très-friable; demande à être peu remuée; très-bon pour la marine.
Faible.	14	S'agglutine un peu; passer le rouable de temps en temps; très-bon pr la marine.
…aucoup de suie.	10 à 12	Moyennement ardent; demande peu de travail; gagne à être retenu; bon pour la marine.
Crasse les tubes.	10	Très-ardent; gagne à être retenu; bon pour la marine, mais avec une forte dépense.
Beauc. de suie mêlée de cendres.	8	Passer fréquemment le crochet et rarement le rouable; charger souvent mais peu à la fois; gagne à être poussé.
Peu de suie mêlée de cendres.	8 à 10	Passer quelquefois le crochet et rarement le rouable; perd beaucoup en poussière; gagne à être poussé. C'est le meilleur charb. fr. pr la marine.
Beaucoup de suie.	8 à 9	Exige un rare emploi du crochet, de la lance et du rouable; charger souvent et peu à la fois; bon pour la marine.
Peu de suie.	10 à 12	Employer de temps en temps la lance; la crasse est dure à décoller; gagne à être poussé; bon pour la marine.
Peu de suie.	10	Ne pas remuer ce charbon; il est bon en roches, très-mauvais en poussière; peu ardent, friable.
Beauc. de cendres.	12 à 15	Il ne convient pas de l'empl. seul. Excell. pr activer la combust. des ch. lents.
Beaucoup de suie.	10	Exige beaucoup de travail des chauffeurs; charbon un peu pyriteux.
Peu de suie.	12	Moyennement ardent; demande à être remué de temps en temps; excellent pour la marine.
Suie assez abond. mélang. de cend.	10 à 12	Moyennement ardent; friable; gagne à être poussé; très-bon pour la marine.
Beaucoup de suie.	10 à 12	Exige beaucoup de travail de la part des chauffeurs; médiocre pr la marine.
Beaucoup de suie.	10	Forte odeur de bitume; employer de temps en temps la lance; assez bon pour la marine.
Suie fine.	10	Peu ardent; chauffage facile; très-bon pour la marine.
Peu de suie.	14	Fiennes employé seul est très-médiocre; mélangé à l'Anzin, il est assez bon.
Faible.	12 à 14	Peu ardent; nécessite un fréquent usage du crochet; assez bon pr la marine.
Faible.	12	Très-bon mélange; chauffage facile; demande à être peu remué.
Faible.	10	Passer la lance avant de charger; bon pour la marine.
Suie mêlée de cend.	8 à 10	Demande à être fréquemment remué avec le rouable; médiocre pr la marine.
Un peu de suie fine.	12	Exige peu de travail; le laisser brûler sans remuer; très-bon pour la marine.
Faible.	12	Exige peu de travail; très-bon pour la marine.

N° 73₂ Épreuves de calcination et d'incinération. — *Les* épreuves de *calcination* et *d'incinération* ont pour but de déterminer les quantités de matières qui brûlent à l'état volatil ou à l'état fixe, ainsi que la quantité de cendres ou de mâchefer que fournit le combustible.

Pour effectuer avec exactitude les épreuves de calcination et d'incinération, il est nécessaire que l'opérateur ait à sa disposition les instruments suivants : un *fourneau de coupelle*, un *creuset de platine* et un *creuset en terre* munis chacun de leur couvercle ; une *capsule de platine* et une *balance exacte*.

La quantité de combustible à soumettre à l'épreuve de la calcination est prise au hasard, en détachant un fragment dans un grand nombre de blocs. On pulvérise ces fragments en une poussière très-fine dans un mortier bien nettoyé. Afin de constater la proportion d'eau hygrométrique que renferme le combustible, on en fait dessécher 100 à 150 grammes, à une température de 100° environ, et on le pèse de temps en temps jusqu'à ce qu'il ne perde plus de son poids. La différence entre le poids primitif et le poids final indique la quantité d'eau. Cela fait, on pèse bien exactement de 5 à 10 grammes du combustible ainsi desséché, et on l'introduit dans le fond du creuset de platine. Il est essentiel de n'introduire dans le creuset qu'une quantité telle, qu'en se boursouflant, le combustible ne puisse le remplir complétement ; cette quantité ne doit pas non plus être trop petite par rapport à la capacité du creuset, car l'air contenu dans celui-ci exercerait une action sur le combustible soumis à l'épreuve.

Ces dispositions prises, le creuset muni de son couvercle est introduit dans la *moufle d'un fourneau de coupelle* préalablement chauffé ; les gaz provenant de la distillation s'échappent par le pourtour du couvercle, et brûlent avec une flamme bleue ou blanche, principalement si le combustible est bitumineux. L'opération de la calcination dure de 10 à 15 minutes.

L'incinération se fait en plaçant de 4 à 5 grammes du combustible pulvérisé et desséché, ou le coke provenant de la calcination, dans une capsule de platine qui est introduite et laissée dans le fourneau de coupelle jusqu'à incinération complète. L'incinération dure de 4 à 5 heures.

Après l'opération de la calcination, on pèse le coke dès qu'il est suffisamment refroidi, et avant qu'il ait pu absorber une certaine quantité d'eau ; on note les caractères extérieurs du coke, ce qui donne un premier indice sur la variété du combustible soumis à l'essai.

Le poids du coke comparé à celui du combustible donne ce que l'on entend par le *rendement en coke*, et ce poids retranché de celui du combustible donne la *quantité de matières volatiles*, comprenant les hydrocarbures (n° 85₁ du *Gd Traité*), l'oxygène et l'azote.

Après l'incinération, les résidus sont pesés dès qu'ils sont un peu refroidis, et avant qu'ils aient pu absorber l'humidité de l'air ; le rapport entre le poids de ces résidus et le poids du combustible soumis à l'essai donne la *teneur en cendres*.

La quantité de carbone *fixe* que contient le combustible, se réduit à l'état de coke dans l'essai de calcination. C'est le rapport de cette quantité à celle du charbon qui est représenté d'ordinaire dans les tableaux sous le nom de *résidu de la calcination*, *déduction faite des cendres*, et qui joue un des principaux rôles dans la manière dont les houilles se comportent au feu. Dans l'anthracite, la

quantité totale de carbone est très-élevée et presque toute à l'état fixe, tandis que dans la houille sèche, la quantité totale de carbone est très-faible et se présente environ dans les proportions de 0,75 à l'état fixe et 0,25 à l'état volatil. D'ailleurs, la quantité totale de carbone augmente au fur et à mesure que l'on passe de la houille sèche à la houille grasse, et de la houille grasse à la houille anthraciteuse, puis à l'anthracite.

Les opérations de calcination et d'incinération pourraient être faites sur la forge du bord, si l'on disposait de quelques creusets en terre et d'une balance exacte (celle de la pharmacie par exemple). Dans ce cas, pour la calcination, il suffirait de placer de 15 à 20 grammes de charbon pulvérisé et desséché dans un creuset en terre préalablement bien nettoyé, puis de recouvrir ce creuset, et de le placer sur un bon feu de forge, de manière qu'il dépasse un peu le charbon du foyer. La distillation s'opérera en chauffant modérément, et les gaz s'échapperont par le pourtour du couvercle en brûlant avec une petite flamme. Lorsqu'il n'y aura plus aucun signe de dégagement de gaz, on cessera de chauffer et on retirera le creuset petit à petit, afin d'éviter une contraction trop brusque ; mais on ne le découvrira que quelques minutes après, lorsqu'on supposera que le combustible n'est plus en ignition, afin d'éviter la perte de carbone qui résulterait du contact de l'air et du coke.

L'incinération peut également se faire sur la forge, en brûlant dans un petit vase en terre, bien vernissé, un poids connu du combustible à essayer. Pour éviter que des fragments du charbon du foyer ou tout autre corps ne soient projetés sur le charbon soumis à l'essai, on place le vase un peu au-dessus du foyer et on le munit d'un couvercle permettant l'accès de l'air, mais empêchant l'introduction de tout corps étranger.

Pour que les résultats de ces divers essais soient comparables, il est essentiel de toujours faire les essais dans les mêmes conditions : car la quantité et la nature du coke peuvent varier suivant que la calcination est lente ou rapide. Avec une calcination lente, le rendement en coke est plus grand qu'avec une calcination rapide et cette différence peut s'élever jusqu'à 6 p. 100. Une chaleur rouge diminue dans la houille la propriété de donner un coke fritté ou boursouflé, et une exposition un peu prolongée à la température de 200° à 300° fait perdre aux houilles grasses le principe qui détermine l'agglutination pendant la calcination. Dans tous les cas, on note après chaque essai fait à terre ou à bord : la *teneur en cendres*, le *rendement en coke*, le *rendement en matières volatiles*, les *caractères du coke*, la *couleur des cendres*, les *caractères extérieurs du combustible*, sa *densité*, sa *cohésion*, sa *provenance*, l'*époque* de son *extraction*, etc. Généralement le rendement en coke est *industriellement* de 5 à 6 p. 100 plus faible que *chimiquement*.

L'examen du tableau ci-joint montre que les quantités et les genres de coke obtenus sont très-différents, quand on passe d'une variété de combustible à une autre. Ce sont ces deux éléments, le poids et le genre de coke, éléments qu'il est facile de se procurer à bord, qui offrent le moyen non-seulement d'être renseigné sur la composition élémentaire des combustibles, mais surtout d'indiquer comment ils se comportent au feu. Il est en effet impossible, quelle que soit l'expérience acquise, de déterminer nettement par tout autre moyen si un combustible est gras ou maigre, lent ou ardent.

COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE ET RÉSULTATS DE LA CALCINATION DE QUELQUES COMBUSTIBLES.

VARIÉTÉS.	PROVENANCE.	DENSITÉ.	PUISSANCE CALORIFIQUE.	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE P. 100 DU POIDS TOTAL.				RÉSULTATS DE LA CALCINATION P. 100.				
				Hydrogène.	Oxygène et azote.	Carbone total.	Cendres.	COKE sans déduction des cendres.	ÉTAT DU COKE.	DÉDUCTION FAITE DES CENDRES. Matières volatiles.	Coke pur ou carbone fixe.	Rapport du carbone fixe au carbone total.
			Calories.									
Anthracite.	Pays de Galles. . . .	1,35	»	3,33	4,80	90,29	1,58	91,30	Pulvérulent.	8,94	91,06	98,0
Houille maigre.	Anzin (Bonnepart) . .	»	7.335	3,49	3,84	86,47	6,20	89,95	A peine formé.	10,72	89,28	96,0
Houille demi-grasse.	Anzin (Saint-Louis). .	»	7.405	4,43	4,54	89,53	1,50	86,15	Bien formé, non boursouflé.	14,07	85,93	94,0
Houille grasse.	Nœux.	1,26	7.365	4,98	5,84	86,78	2,40	77,05	Bien formé.	23,52	76,48	86,0
Idem.	Newcastle	1,27	»	5.24	6,61	86,75	1.40	71,48	Boursouflé.	28,92	71,08	80,8
Houille sèche.	Bruay.	1,22	6.787	5,56	12,38	79,86	2,20	62,49	Boursouflé.	38,36	61,64	75,0
Idem.	Blanzy	1,[illegible]6	»	5,23	17,06	75,43	2,28	57,00	Faiblement agrégé mais non boursouflé.	44,00	56,00	73,0
Lignite.	Rocher-Bleu.	1,25	»	4,58	18,98	63,01	13,43	41,10	Non collé.	68,04	31,96	44,0
Agglomérés	d'Anzin	1,21	»	Matières volatiles 16,40		77,24	6,37	»	»	»	»	»
Agglomérés	de Portes et Sénéchas.	1,22	»	16,73		74,17	9,09	»	»	»	»	»
Agglomérés	de la Grand'Combe .	1,22	»	18,35		72,94	8,71	»	»	»	»	»
Agglomérés	de Rocher-Bleu et de la Ricamarie. . . .	1,24	»	40,87		50,89	8,24	»	»	»	»	»

D'après les nombres inscrits au tableau ci-joint, on voit que la proportion d'hydrogène est d'environ 3 p. 100 dans les combustibles anthraciteux, et qu'elle s'élève de 5 à 5,6 p. 100 dans les houilles sèches et dans les lignites. L'oxygène se trouve à peu près dans les mêmes proportions que l'hydrogène dans les combustibles anthraciteux ; mais il s'élève à environ 15 p. 100 dans les houilles sèches et beaucoup au-dessus de ce chiffre dans les lignites. L'azote entre dans la proportion de 0,5 à 2 p. 100 dans la composition élémentaire de toutes les variétés de houilles.

Les houilles à coke boursouflé ont une grande teneur en hydrogène et un faible rapport de l'oxygène à l'hydrogène. Les houilles dans lesquelles la dose d'oxygène est de beaucoup supérieure à celle de l'hydrogène, ne se comportent pas ainsi; elles ne se ramollissent pas avant ou pendant leur décomposition. Les houilles dans lesquelles la proportion d'hydrogène et d'oxygène est très-faible, conservent presque exactement, après la calcination, la forme extérieure de la houille, et le coke tombe en poussière au moindre choc.

M. *Berthier* a proposé le moyen suivant pour se rendre compte de la composition du charbon. — On pulvérise du charbon que l'on mêle à 30 fois son poids de litharge, et on le dépose dans un creuset que l'on remplit du même sel de plomb. On chauffe jusqu'au moment où les gaz cessent de faire bouillonner la surface du mélange (20 minutes environ), puis on brise le creuset et on pèse le lingot de plomb obtenu. Or, la litharge contient en composition 207 de plomb et 16 d'oxygène; sous l'influence de la chaleur, l'affinité du carbone est plus grande pour l'oxygène que celle du plomb; de sorte que le carbone s'empare de l'oxygène de la litharge pour former de l'acide carbonique. D'après les proportions, pour une partie d'oxygène absorbée, il y aura 13 parties de plomb produit; et d'un autre côté, l'acide carbonique a été formé par la combinaison de 8 parties d'oxygène pour 3 de carbone.

En désignant par x la quantité d'oxygène enlevée à la litharge, par a le poids du lingot obtenu et par z le poids du carbone, on aura :

$$x = \frac{a}{13}, \quad \text{et } z = \frac{3x}{8} = \frac{3a}{13 \times 8} = \frac{3a}{104},$$

soit $z = 0{,}03$ de a en nombre rond.

Dans cette opération, on suppose, ce qui n'existe pas réellement, que le carbone est le seul agent combustible et que la litharge est pure. Ces deux conditions sont loin d'être remplies, mais l'expérience ci-dessus est suffisante pour donner des résultats comparatifs. Le charbon le plus avantageux est celui qui est le plus riche en carbone.

N° 73_3 Appareil Orsat pour analyser la fumée. — L'appareil *Orsat*, pour analyser les produits de la combustion, est fondé sur la propriété dont jouissent certains liquides d'absorber différents gaz. Il se compose, comme le montre la *fig.* 86, des éléments suivants :

S soufflet destiné à purifier le tube qui réunit l'appareil à la cheminée dont on veut analyser les gaz.

F flacon aspirateur renfermant de l'eau aiguisée par quelques gouttes d'acide chlorhydrique, et qui est relié à l'appareil par un long tube en caoutchouc vissé sur la tubulure *t*.

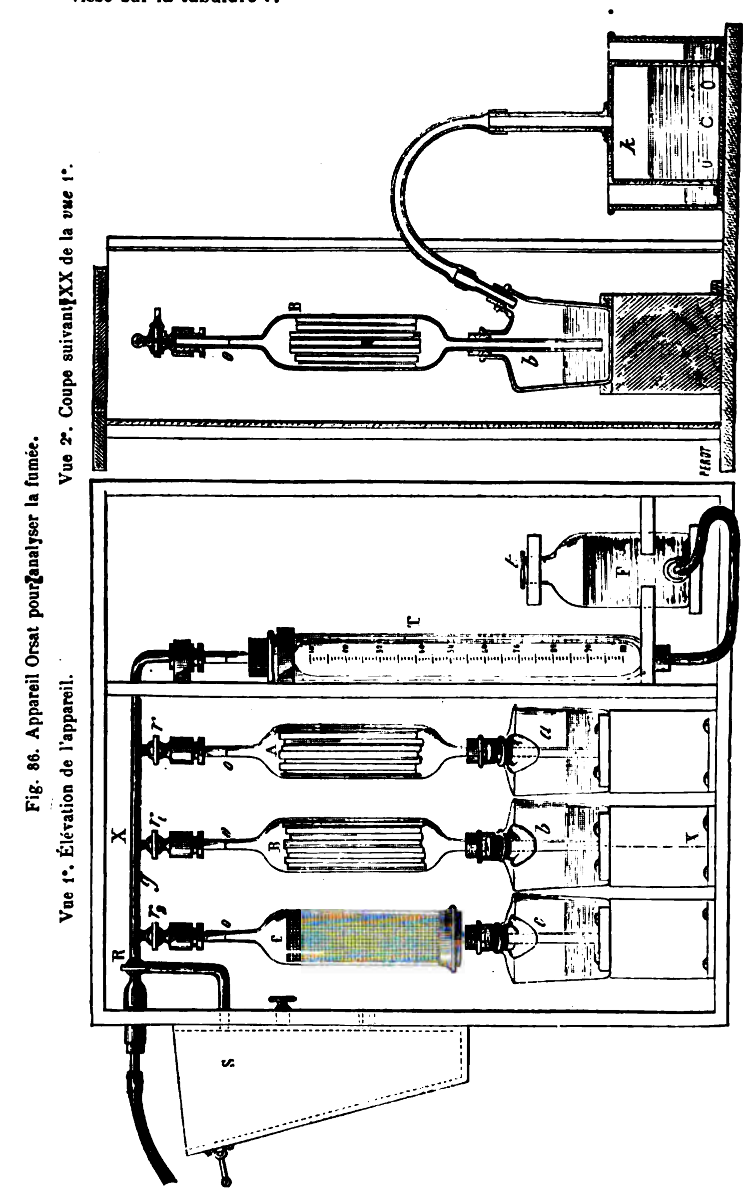


Fig. 86. Appareil Orsat pour analyser la fumée.

Vue 1°. Élévation de l'appareil. Vue 2°. Coupe suivant XX de la vue 1°.

T tube gradué servant de mesureur; il est enveloppé dans un manchon plein d'eau, afin de maintenir la température aussi constante que possible et d'éviter des corrections qui compliqueraient l'opération.

A,B,C cloches placées au-dessus de flacons *a*, *b* et *c*; chacune de ces trois cloches est munie de deux tubulures et contient un liquide analyseur, savoir :

1° La cloche A, une dissolution de potasse caustique marquant 40° à l'aréomètre de Beaumé; ce liquide absorbe promptement l'acide carbonique.

2° La cloche B, une dissolution de potasse additionnée d'acide pyrogallique; ce liquide absorbe l'oxygène; l'action est moins rapide que la précédente, mais elle est pourtant assez vive, surtout si on opère en pleine lumière.

Les tubes en verre contenus dans les cloches A et B ont pour but de multiplier les surfaces de contact du liquide et du gaz.

3° La cloche C, une solution ammoniacale de chlorhydrate d'ammoniaque, en présence d'une toile métallique en cuivre rouge qui sert à la fois à multiplier les surfaces de contact et comme agent chimique. Ce liquide absorbe l'oxyde de carbone, et absorberait également l'oxygène si le gaz à analyser n'en avait pas été dépouillé préalablement. L'absorption est d'ailleurs assez rapide.

Les trois cloches A,B,C sont reliées entre elles et avec le tube mesureur T, par un tube capillaire *g*; des robinets permettent d'établir ou d'intercepter la communication des cloches et du tube *g*; enfin un repère *o* placé à la partie supérieure des cloches, sert à ramener le niveau du liquide toujours au même point.

Les liquides qui absorbent l'oxygène se détériorant assez rapidement au contact de l'air, on a mis les flacons qui les renferment, en communication avec des cloches K renversées dans de l'eau, et qui au bout de peu de temps ne renferment plus que de l'azote.

Pour faire une analyse, le niveau des liquides doit être amené aux repères *o*, aussi bien dans les cloches d'analyse que dans le tube mesureur, et tous les robinets doivent être fermés. On commence alors par purger le tube qui va à la chaudière, en aspirant avec le soufflet la fumée à analyser. Cela fait, on ouvre le robinet R, qui est à l'entrée de l'appareil; puis, en prenant le flacon aspirateur dans la main, on le baisse de manière à faire entrer 100 volumes de gaz dans le mesureur; on ferme ensuite le robinet R. Ouvrant alors le robinet *r*, qui établit la communication avec la première cloche A, on fait passer à plusieurs reprises les 100 volumes de gaz du mesureur dans cette cloche et *vice-versa*, jusqu'à ce que le volume ne diminue plus; alors tout l'acide carbonique est absorbé, et on ramène le gaz dans le tube gradué en faisant affleurer la solution de potasse au repère; puis on ferme la communication, et on mesure de nouveau le volume de gaz. La différence à 100 donne le volume d'acide carbonique qui entrait dans le mélange et que nous désignerons par CO^2.

Des opérations entièrement analogues permettent d'absorber l'oxyde de carbone (CO) dans le second flacon B, l'oxygène libre (O) dans le troisième C, et de déterminer leur volume par différence. Ce qui reste après le passage des gaz dans les trois cloches, est de l'azote (Az); mais il pourrait également y avoir de l'hydrogène pur ou des hydrogènes carbonés, car bien qu'il y ait de l'oxygène en excès, la totalité de l'hydrogène peut ne pas avoir été brûlée. L'apareil *Orsat* aurait besoin d'être complété par un troisième flacon dans lequel l'hydrogène serait absorbé.

Discussion des résultats de l'analyse. — On sait qu'un volume d'acide carbonique contient un volume d'oxygène, et qu'un volume d'oxyde de carbone en contient seulement un demi-volume; on peut donc conclure que le mélange contenait un volume d'oxygène égal à $CO^2 + \frac{CO}{2} + O$, en employant des notations connues.

Mais le gaz soumis à l'analyse n'étant autre chose que de l'air brûlé, plus ou moins complétement, si rien n'avait disparu pendant la combustion, l'azote et l'oxygène devraient se trouver dans le rapport de 79,2 à 20,8, c'est-à-dire :

$$\frac{Az}{CO^2 + \frac{CO}{2} + O} = \frac{79,2}{20,8}.$$

C'est aussi ce qui arrive avec du coke ou du charbon de bois; mais la *houille* contient de l'hydrogène et produit, en brûlant, de l'eau qui se condense ensuite; il en résulte que :

$$\frac{Az}{CO^2 + \frac{CO}{2} + O} > \frac{79,2}{20,8};$$

et la différence indique la quantité d'oxygène employée à brûler l'hydrogène libre, soit :

$$Az \times \frac{20,8}{79,2} - \left(CO^2 + \frac{CO}{2} + O\right),$$

que nous désignerons par $(a-b)$.

Enfin, des données précédentes, on peut encore conclure quel est le volume d'air dépensé pour brûler un kilog. de charbon, en admettant (n° 85, du *G^d Traité*) que la combustion complète exige $8^{m.cub},5$ d'air à la température moyenne pour une houille de bonne qualité. En effet, le volume total d'oxygène dépensé est proportionnel à $Az \times \frac{20,8}{79,2}$, et celui qui a été brûlé à $CO^2 + \frac{CO}{2} + (a-b)$; mais à ce dernier il faut ajouter $\frac{CO}{2}$ d'oxygène nécessaire pour achever de brûler l'oxyde de carbone. Il y aurait encore à ajouter 3 ou 4 p. 100 d'oxygène pour tenir compte du carbone qui reste dans les escarbilles et la suie; mais comme, d'autre part, l'oxygène employé à brûler l'hydrogène libre est évalué trop largement, il est préférable de négliger ces deux causes d'erreur, qui se compensent à peu de chose près.

Le rapport de l'oxygène ou de l'air dépensé à celui qui est strictement nécessaire pour une combustion complète est donc :

$$\frac{Az \times \frac{20,8}{79,2}}{CO^2 + \frac{CO}{2} + (a-b)};$$

et, par suite, le volume dépensé par kilog. de charbon est :

$$8^{m.cub},5 \times \frac{Az \times \frac{20,8}{79,2}}{CO^2 + \frac{CO}{2} + (a-b)}$$

D'après ce qui précède, on voit que l'appareil *Orsat*, que nous venons de décrire,

fournit des renseignements très-intéressants sur la combustion dans les chaudières, et cela à l'aide d'opérations très-faciles, ne demandant que du soin, et parfaitement à la portée d'un ouvrier intelligent.

CHAP. VI, § 2. — CONDUITE DES CHAUDIÈRES.

N° 74. — 1. Conduite des chaudières ordinaires à haute pression avec l'emploi des condenseurs à surface. — 2. Conduite des chaudières Belleville. — 3. Emploi des anti-calcaires. — 4. Chaudières alimentées à l'eau douce naturelle.

N° 74_1 Conduite des chaudières ordinaires à haute pression avec l'emploi des condenseurs à surface. — Les matières grasses qui ont servi à lubrifier les tiroirs et les cylindres, et qui sont portées dans les chaudières par l'eau d'alimentation, constituent un véritable danger pour les générateurs. Ces graisses, plus ou moins modifiées chimiquement, rendent l'eau d'alimentation oxydante ; de plus, en se mélangeant avec les sels qui se déposent, elles peuvent former des boules volumineuses qui obstruent les passages de l'eau, peuvent isoler les tôles et donner lieu aux mêmes inconvénients graves que les dépôts salins.

Il existe, pour combattre ce danger, un ensemble de moyens d'une efficacité certaine, que l'on peut résumer comme suit :

1° *Réduire les graissages intérieurs.* — Sur la plupart des navires, l'usage du suif est supprimé; en France, on n'emploie que l'huile d'olive, et pour n'en consommer que la quantité strictement nécessaire, on fait usage de graisseurs automatiques (n° 53_4). En Angleterre, on emploie d'une manière exclusive l'huile minérale dite de *Crane*. D'un autre côté, sur un grand nombre de bâtiments de la marine militaire ou du commerce, on emploie avec succès pour les presse-étoupe des tiges, des garnitures auto-lubrifiantes (n° 33_8).

2° *Protéger les surfaces internes des chaudières, contre le contact immédiat de l'eau.* — On doit, dans les premiers temps de l'emploi d'un appareil, ou lorsqu'il vient d'être nettoyé à fond, faire le plein à l'eau de mer, et alimenter exclusivement avec cette eau, jusqu'à ce qu'on ait tapissé l'intérieur des chaudières d'une couche de sel d'un quart à un tiers de millimètre d'épaisseur. — Une mesure qui agit dans le même sens et qui s'applique particulièrement aux fonds, consiste à enduire les tôles d'une couche de ciment de Portland d'environ un centimètre d'épaisseur. Elle peut servir en même temps à faire disparaître les petites fuites dans les parties basses des enveloppes, et qui proviennent de l'inégalité de dilatation, ces parties étant moins chauffées que les hautes. On évite ainsi l'usure qui est toujours la conséquence des fuites.

3° *Emploi des tubes en fer. — Étamage des tubes des condenseurs et des tuyaux*

d'alimentation. — On diminue l'intensité des actions chimiques en composant les diverses parties de la chaudière d'un même métal. A ce point de vue, les tubes en fer sont préférables aux tubes en laiton et on les rencontre sur un grand nombre de paquebots. Toutefois, il faut que le métal des tubes en fer soit d'une qualité supérieure ; sans cela, ces tubes durent beaucoup moins que les tubes en laiton. — Dans le même ordre d'idées, il est bon d'étamer les tubes du condenseur et tout le tuyautage d'alimentation. Cette opération, qui est longue et coûteuse, n'est pas indispensable lorsque les moyens 1° et 2° ci-dessus sont bien appliqués. L'étamage des tubes des condenseurs est pratiqué d'une manière exclusive sur les navires de guerre français. Mais cette opération n'est généralement pas effectuée sur le tuyautage d'alimentation.

4° *Emploi du zinc dans les chaudières.* — Cette précaution était appliquée par un grand nombre de compagnies du commerce, et une circulaire ministérielle en date du 1er juillet 1875, enjoint aux bâtiments de la flotte française de faire usage du même procédé. On suspend dans les chaudières des plaques de zinc de 30^{cm}, sur 50^{cm}, et de 14^{mm} à 15^{mm} d'épaisseur, en nombre égal à celui des foyers, du côté et à la hauteur des alimentations. On ne sait pas très-exactement quelle est la réaction chimique qui se produit à l'aide du zinc; mais on a constaté que ce métal disparaît assez rapidement dans les chaudières ; il est donc attaqué par un agent destructeur, et il produit un bon effet, puisqu'il empêche cet agent de s'attaquer aux tôles. — On pourrait aussi, par plus grande mesure de précaution, mettre des morceaux de zinc sur le parcours de l'eau d'alimentation.

5° *Emploi du bicarbonate de soude et filtrage de l'eau d'alimentation.* — Pendant quelques années, on a eu recours à l'introduction du bicarbonate de soude dans le condenseur ; puis on y a renoncé à cause de la complication qu'elle amenait et des ébullitions fréquentes qui lui ont été attribuées. Cette précaution, bonne en elle-même, est rendue en effet à peu près inutile par l'ensemble de celles qui précèdent. — On peut en dire autant du filtrage de l'eau d'alimentation, qui cependant est fréquemment employé en Amérique : le système consiste en une boîte à charnières contenant des éponges, et que traverse l'eau d'alimentation. Ces éponges arrêtent mécaniquement les graisses.

6° *Extractions.* — Les extractions doivent être pratiquées, non pas d'une manière continue, mais par intermittence. Le degré de salure ne doit pas dépasser 2°,5 du salinomètre réglementaire, et on peut l'abaisser sans inconvénient jusqu'à 2°. D'une manière plus précise, il faut opérer au moins une extraction par quart, en produisant un abaissement de niveau de 6^{cm} à 8^{cm}. L'extraction doit se faire à la fois à hauteur du niveau, et par le bas de la chaudière. Par le niveau, on rejette les graisses qui surnagent, tandis que l'extraction par le fond permet d'expulser les parties graisseuses amalgamées avec les sels, et que les mouvements de l'eau réduisent en boules. L'extraction par le fond doit se faire avec le robinet ouvert en grand.

7° *Dégraissage de l'eau d'alimentation.* — Afin de neutraliser l'action corrosive des acides gras, MM. *Hétet* et *Risbec* ont imaginé d'introduire un lait de chaux dans l'eau d'alimentation (n° 21_2). La description de l'appareil employé à cet usage est donnée au n° 75_2. Les résultats obtenus sur les divers bâtiments où cet appareil est établi ayant été très-satisfaisants, une circulaire ministérielle en date du

25 mai 1878 a prescrit de pourvoir toutes les machines, d'une installation simple **permettant** d'introduire, sinon d'une manière continue, au moins trois ou quatre fois **par** quart, dans la partie haute des condenseurs et vis-à-vis l'arrivée de **vapeur**, un poids de chaux égal au quart de celui de l'huile employé au graissage **intérieur** des cylindres et des tiroirs. La même circulaire en date du **25 mai 1878**, enjoint d'employer simultanément deux des moyens de préservation **dont** il vient d'être question; le zinc et la chaux. Mais il importe de remarquer que les sels résultant de la combinaison des acides gras et de la chaux **étant** insolubles, il convient de ne pas les laisser s'accumuler en trop grande **quantité** dans les condenseurs, ni dans les chaudières. De là, nécessité de réduire le graissage autant que possible, et de nettoyer les chaudières et les condenseurs aussi souvent que les circonstances de la navigation le permettront.

Faire le plein. — Pour les précautions à prendre avant et après cette opération, ainsi que pour le mode de procéder, se reporter rigoureusement aux indications du n° 169_1 du *G^d Traité*. — Le plein se fait généralement à l'eau de mer.

Charger les fourneaux. — Agir ainsi qu'il est dit au n° 167_1 du *G^d Traité*.

Allumage. — Se reporter aux indications du n° 167_2 du *G^d Traité* pour les précautions à prendre avant l'allumage. — De plus, ne pousser les feux que modérément lors de l'allumage, de manière à employer un temps relativement long pour avoir de la pression. En agissant ainsi, les variations de température sont beaucoup moins brusques; les différentes parties de la chaudière se dilatent d'une manière sensiblement uniforme, et les coutures fatiguent moins. D'un autre côté, et pour le même motif, l'échauffement des tuyaux de vapeur, des boîtes à tiroir et des cylindres doit également être lent et progressif, si l'on ne veut pas s'exposer à des déformations, et même à des ruptures par suite de dilatations inégales.

Pour obtenir cet échauffement lent des différentes parties dans lesquelles circule la vapeur, il convient d'ouvrir légèrement les soupapes d'arrêt aussitôt qu'on a allumé les feux, de façon à mettre la machine en communication avec les chaudières. L'ouverture de ces soupapes d'arrêt ne doit pas être trop considérable, car elles ne doivent laisser passer que l'air chaud qui se dégage au fur et à mesure que l'eau s'échauffe, puis ensuite une quantité de vapeur suffisante pour déterminer un échauffement graduel. Lorsque l'on ouvre ainsi la soupape d'arrêt lors de l'allumage, il est complétement inutile d'ouvrir les soupapes de sûreté, ou du moins, il n'est pas nécessaire de les maintenir

ouvertes jusqu'à la formation de vapeur; mais il sera prudent de s'assurer du bon fonctionnement de ces organes, en les manœuvrant d'abord avant l'allumage des feux et ensuite dès que l'on a de la pression.

Lorsque l'on allume simultanément plusieurs corps de chaudière, il importe de conduire les feux de manière que les différents corps arrivent en pression en même temps; sans cette précaution, l'on peut s'exposer à des ébullitions violentes dans ceux des corps de chaudière où la pression serait la plus élevée.

Si l'on ne part pas immédiatement après que l'on est en pression, et que la machine soit suffisamment purgée et échauffée, il faudra agir, à l'égard des feux, ainsi qu'il est dit au paragraphe « *Rester sur les feux* » du n° 167_3 du *Gd Traité.*

Dispositions à prendre pendant la marche. — Suivre les indications du n° 167_4 du *Gd Traité.* — En outre, s'assurer fréquemment du bon fonctionnement des soupapes de sûreté et des régulateurs d'alimentation. S'appliquer à conduire la chauffe d'une manière régulière. Éviter avec soin les rentrées de l'air froid; car, au point de vue des refroidissements brusques, les chaudières à haute pression exigent encore plus de soins que les anciens générateurs, à cause des plus grandes variations de température auxquelles elles sont exposées. — Pendant les arrêts ou les ralentissements, il faut s'abstenir autant que possible d'ouvrir les portes des boîtes à tubes. Lorsqu'il y a lieu de procéder au nettoyage des tubes pendant la marche, cette opération doit être conduite avec la plus grande célérité, en employant l'appareil *Rowlland* (n° 78_2) de préférence aux écouvillons. — Le décrassage des grilles doit s'effectuer ainsi qu'il est dit au n° 168_1 du *Gd Traité.*

Conserver un niveau constant. — Précautions à prendre relativement à l'alimentation en marche. — Consulter les indications des nos 169_2 et 169_3 du *Gd Traité.* — Observer en outre que les chaudières qui nous occupent prennent leur eau d'alimentation dans des bâches à eau douce, dont les capacités sont généralement assez restreintes, et qui ne tarderaient pas à se remplir si les régulateurs d'alimentation n'étaient pas ouverts d'une quantité suffisante; cette ouverture doit être telle, qu'il pénètre à chaque instant dans les chaudières une quantité d'eau égale à la quantité de vapeur dépensée par la machine dans le même temps. Sans cette précaution, l'excès d'eau arrivant dans les bâches à eau douce se déverserait par la

décharge accidentelle, et cette eau, ainsi perdue, devrait être remplacée ultérieurement par une égale quantité d'eau de mer. — Si l'alimentation avait été insuffisante pendant quelque temps, on ne tarderait pas à s'en apercevoir par l'abaissement du niveau de l'eau dans les chaudières, et pour ramener le niveau à sa hauteur normale, il faudrait nécessairement forcer l'alimentation et introduire dans les chaudières une quantité d'eau *supérieure* à la quantité de vapeur dépensée par la machine dans le même temps. Pour que les pompes alimentaires ne travaillent pas à vide, il serait nécessaire d'augmenter l'ouverture du réparateur, et d'introduire dans les bâches à eau douce une quantité d'eau de mer d'autant plus considérable que les régulateurs d'alimentation seraient plus largement ouverts.

Le maintien d'un niveau constant dans les générateurs alimentés à l'eau de mer, a pour but principal d'éviter les fluctuations de pression dont les inconvénients sont indiqués au n° 173, du G^d^ *Traité*. Ces inconvénients subsistent également avec les chaudières à haute pression; mais en outre, ainsi qu'on vient de le voir, la non-observation du maintien d'un niveau constant fait perdre une certaine quantité d'eau douce. Il est donc de la plus haute importance de proportionner l'ouverture des régulateurs d'alimentation des divers générateurs en fonction, à la consommation d'eau faite dans chacun d'eux. Il va de soi que l'on devra s'assurer de temps à autre du bon fonctionnement des appareils indicateurs du niveau de l'eau, et les contrôler par celles des robinets de jauge. S'il se produisait des fuites aux chaudières ou au tuyautage d'alimentation, il faudrait nécessairement employer tous les moyens dont on dispose pour réduire ces fuites, et n'ouvrir le réparateur que de la quantité strictement nécessaire pour que le niveau de l'eau des chaudières et des bâches à eau douce demeure constant.

Il faut s'assurer, plusieurs fois par quart, du degré de concentration de l'eau des chaudières. Si l'on s'aperçoit que la concentration augmente, cela ne peut provenir que de l'une des causes suivantes : ou le réparateur est trop ouvert, ou les tubes du condenseur fuient. Dans les deux cas, le niveau de l'eau dans les bâches à eau douce sera très-élevé, et les décharges accidentelles devront laisser sortir une quantité d'eau plus ou moins considérable, suivant l'intensité des fuites ou le degré d'ouverture du réparateur. La première chose à faire en pareille occurence, sera de fermer les réparateurs en totalité jusqu'à ce que le niveau de l'eau dans les bâches à eau douce soit revenu à bonne hauteur. Si cette dernière circonstance ne tarde pas à se produire, c'est

que le mal provenait uniquement de la trop grande ouverture de ces réparateurs. Si, malgré la fermeture de ces derniers organes, la décharge accidentelle continue de fonctionner, c'est un indice certain que les tubes du condenseur fuient, et qu'une partie de l'eau de circulation tombe dans le condenseur. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de pratiquer de temps en temps quelques extractions pour éviter la formation de dépôts salins. Si les fuites étaient considérables, ce dont on s'apercevrait par la quantité d'eau déversée par les tuyaux de décharge accidentelle et par l'augmentation de la concentration aux chaudières, il faudrait se rapprocher de la manière de faire à l'égard des chaudières à moyenne pression alimentées à l'eau de mer. Il faudrait, par suite, fonctionner à une pression ne dépassant pas $3^{at},25$, afin d'éviter les dépôts salins, et ouvrir les extractions continues de manière à maintenir la concentration entre 2°,5 et 3° du pèse-sels réglementaire.

Il est évident que, pour un même degré de détente, la puissance de la machine se trouvera diminuée par le fait de l'abaissement de la pression de régime ; mais si l'on fonctionnait avec l'organe de détente variable, il sera possible de diminuer la perte de puissance en augmentant la durée de l'introduction. Quoiqu'il en soit, la consommation de combustible par cheval et par heure sera plus considérable que lorsque l'on fonctionnait dans les conditions normales ; aussi devra-t-on remettre les tubes du condenseur en bon état dès que les circonstances le permettront.

Les matières grasses employées au lubrifiage des tiroirs et des cylindres, quoique décomposées en grande partie par le fait de l'introduction du lait de chaux (n° 75_2), pourront être chassées à l'extérieur en pratiquant tous les quarts, une extraction de 6 à 8 centimètres, le tuyau étant disposé pour prendre l'eau à la surface à 8 ou 10 centimètres au-dessus de la rangée supérieure des tubes.

Abaissement notable du niveau de l'eau aux chaudières. Mesures à prendre. — Suivre les indications du n° 169_4 du *G^d Traité*. — Remarquer en outre, que cet abaissement ne peut provenir que de l'une des causes suivantes : manque d'eau dans la bâche à eau douce, par le fait de pertes extérieures de vapeur ou d'eau douce ; fuites dans le tuyautage ou dans le générateur ; mauvais fonctionnement des pompes alimentaires.

Si l'abaissement du niveau aux chaudières provient d'un manque

d'eau dans la bâche à eau douce, on rétablira le niveau dans ce dernier récipient en ouvrant le réparateur; puis on forcera l'ouverture du régulateur d'alimentation jusqu'à ce qu'on ait remis le niveau des chaudières à bonne hauteur.

Dans le cas où cet abaissement serait dû à des fuites dans le générateur, il faudrait agir ainsi qu'il est dit dans le paragraphe précédent. S'il s'agit d'une fuite dans le tuyautage, on atténuera la fuite en effectuant une bonne rousture et en agissant d'après les indications du n° 175_2 du *Gd Traité*.

Enfin, si cet abaissement provient du mauvais fonctionnement des pompes alimentaires, on en recherchera immédiatement la cause (nos 178_1 et 196_2 du *Gd Traité*). Dans ce dernier cas, on supprimera momentanément le fonctionnement de la pompe alimentaire, et on visitera la boîte de trop-plein pour remettre les choses en état. — Pendant cette réparation, on effectuera l'alimentation à l'aide du petit cheval en le faisant puiser dans la bâche à eau douce, si la disposition du tuyautage le permet, ou à la mer dans le cas contraire.

Dans le cas où l'eau ne paraîtrait ni dans le tube de niveau, ni aux robinets-jauges, il faudrait procéder ainsi qu'il est dit au n° 169_4 du *Gd Traité*.

Ébullitions et projections d'eau. — Ces accidents proviennent de l'une des causes indiquées aux nos 174_1, 174_2 et 174_3 du *Gd Traité*. — En outre, les matières grasses ayant servi au lubrifiage des cylindres, et qui sont entraînées aux chaudières par l'alimentation, sont les causes dominantes des ébullitions qui se manifestent dans les nouvelles chaudières. Pour prévenir dans la mesure du possible, l'accident dû à une semblable cause, il convient, ainsi qu'on l'a déjà dit, de laisser tapisser l'intérieur des chaudières d'une légère pélicule de sel, afin que l'eau ne soit pas en contact immédiat avec des tôles décapées; de réduire le graissage des cylindres au strict nécessaire, et de veiller au bon fonctionnement de l'appareil à lait de chaux, en proportionnant la quantité de chaux à celle des matières grasses employées au graissage des parties dans lesquelles circule la vapeur; enfin, en effectuant des nettoyages fréquents de l'intérieur des chaudières. Par ailleurs, lorsque l'accident est déclaré, agir ainsi qu'il est dit au n° 174 du *Gd Traité*, en opérant, à l'égard de la machine, ainsi qu'il est dit au même numéro pour le cas où l'ébullition serait accompagnée de projection d'eau.

Supprimer une chaudière à la mer et en allumer une autre. — Agir rigoureusement ainsi qu'il est dit au n° 173_4 du *Gd Traité*, en évitant toutefois de faire extraction complète de la chaudière supprimée, à moins de nécessité absolue, et en prenant par ailleurs toutes les précautions nécessaires pour empêcher la contraction brusque des tôles.

Activer ou ralentir les feux. — Se reporter aux indications du n° 167_5 du *Gd Traité*, en maintenant toutefois les alimentations ouvertes d'une quantité suffisante pour que l'eau des bâches ne puisse se déverser par la décharge accidentelle. — Le ralentissement des feux s'obtiendra par la fermeture totale ou partielle des cendriers, et au besoin l'ouverture des portes des fourneaux, préférablement à l'ouverture des portes de boîtes à tubes ; ce dernier moyen ne devra être employé que dans les cas exceptionnels, à cause des variations brusques de température qui en résulteraient pour les parties hautes du générateur.

Stoppage. — Avant un stoppage prévu de la machine, il conviendra de forcer un peu l'alimentation de manière à stopper avec un niveau un peu élevé, et ne pas être dans l'obligation d'alimenter au petit cheval pendant l'arrêt. Si le niveau venait à baisser pendant le stoppage, par suite de l'échappement de vapeur par les soupapes de sûreté, on le ramènerait à bonne hauteur à l'aide des petits chevaux, en prenant l'eau aux bâches à eau douce, si la disposition du tuyautage le permet.

Si les pompes de circulation sont indépendantes, les tuyaux d'échappement des soupapes de sûreté sont généralement en communication directe avec les condenseurs. Dans le cas d'une semblable disposition, on évite les pertes d'eau douce, en faisant fonctionner la pompe de circulation pour condenser la vapeur au fur et à mesure de son arrivée au condenseur. Si l'échappement des soupapes de sûreté aboutit à l'extérieur, on pourra diminuer la perte d'eau résultant de l'échappement à travers ces soupapes, en faisant fonctionner les pompes de circulation pendant les arrêts. — L'échappement de vapeur des petites machines motrices de ces pompes aboutissant toujours aux condenseurs, la vapeur dépensée par ces machines pourra, de la sorte, être renvoyée aux chaudières. Si en outre, les cylindres sont pourvus de chemises communiquant avec le condenseur, on pourra également ouvrir les robinets de communication des chemises aux chaudières et

aux condenseurs, et éviter ainsi d'ouvrir les soupapes de sûreté; ou du moins, leur ouverture pourra être considérablement diminuée. Dans tous les cas, et suivant la disposition du tuyautage, il conviendra de prendre toutes les précautions nécessaires pour diminuer les pertes de vapeur à travers les soupapes, car outre les pertes d'eau douce, l'échappement à l'extérieur occasionne un bruit très-incommodant pour les manœuvres exécutées sur le pont.

Rester sur les feux. — Lorsque l'on reçoit l'ordre de rester sur les feux, il faut agir ainsi qu'il est dit au n° 167_8 du *Gd Traité*, et employer tous les moyens nécessaires pour diminuer la production de vapeur. On profite de cette circonstance pour nettoyer les fourneaux, ainsi que les tubes, si cela est nécessaire.

Pousser les feux. — Quand, après être resté sur les feux, on veut les remettre en activité, il suffit d'étendre le charbon uniformément sur la grille, de recharger modérément les fourneaux, d'ouvrir les portes de cendrier et de fermer celles des fourneaux. — Suivre d'ailleurs les indications du n° 167_8 du *Gd Traité*.

Mettre bas les feux. — Lorsqu'on doit mettre bas les feux, on doit prendre toutes les dispositions énumérées au n° 168_3 du *Gd Traité*. — De plus, dès que l'opération qui nous occupe est effectuée, on prend toutes les précautions nécessaires pour éviter les rentrées d'air froid dans les courants de flamme; on ferme notamment les portes des fourneaux et de cendriers, et on met le capot de cheminée en place. A moins qu'il n'y ait lieu de procéder à quelques réparations dans les chaudières, on s'abstient de faire extraction complète; on se contente d'une extraction jusqu'au bas du tube de niveau. Les chaudières sont vidées à la cale après qu'elles ont été suffisamment refroidies.

Remarque. — Dans les machines pourvues de condenseurs à surface, le nettoyage de ces derniers récipients s'effectue généralement après la mise bas des feux. La vapeur est introduite dans les condenseurs par un tuyau *ad hoc*, après avoir vidé l'eau de circulation n° 75_2. Le courant de vapeur, ainsi introduit, a pour but de faire fondre les graisses qui recouvrent les tubes, et de les faire tomber dans le bas des condenseurs, d'où elles sont ensuite facilement enlevées par les portes de nettoyage.

N° 74₂ Conduite des chaudières Belleville. — Les chaudières Belleville sont à tubes d'eau (n° 61₄ et ₅). Ces appareils sont encore très-peu usités sur les navires ; mais on en rencontre fréquemment sur les canots à vapeur, et il nous a paru indispensable de donner quelques explications détaillées sur leur conduite.

Faire le plein. — Dans les appareils de canot, introduire l'eau dans le cylindre-niveau par la tubulure disposée à cet effet. Ouvrir le robinet de décharge de l'épurateur, ou celui de l'échappement direct dans la cheminée, pour laisser évacuer l'air contenu dans les tubes. S'assurer que l'eau arrive bien dans le collecteur inférieur en interrogeant le robinet de vidange ; puis lorsque le niveau de l'eau a atteint la hauteur voulue dans le tube, mettre à poste le bouchon à vis qui ferme la tubulure de remplissage. — Pour les précautions à prendre avant et après cette opération, consulter le n° 169₁ du *Gᵈ Traité*.

Dans les appareils de navire, manœuvrer le petit cheval à la main, à moins que la hauteur de l'eau dans les réservoirs, résultant d'une disposition spéciale de ces récipients, ne soit plus élevée que la partie supérieure des cylindres-niveaux. — Dans ce cas, ouvrir les robinets à soupape qui servent de régulateur d'alimentation dans chaque générateur, et laisser le niveau de l'eau s'établir à mi-hauteur du tube de niveau dans chacun d'eux. Ouvrir la soupape de sûreté de chaque générateur pour laisser sortir l'air contenu dans les tubes. — Observer que les cylindres-niveaux étant vides, le flotteur du robinet automoteur d'alimentation de chacun d'eux est au bas de sa course, et que ce robinet est par suite ouvert en grand. — Au fur et à mesure que l'eau atteint la hauteur voulue dans chaque générateur, fermer le robinet à soupape correspondant.

Lorsqu'il y aura lieu d'obtenir rapidement la pression, il suffira que l'eau s'élève de 2 à 3 centimètres dans le tube de niveau.

Charger les fourneaux. — Le charbon est réparti sur la grille dans les conditions et d'après le procédé ordinaire (n° 167₁ du *Gᵈ Traité*). — Si on a le choix du combustible, employer de préférence des houilles à flammes courtes.

Garnir le fourneau avec d'autant plus d'étoupes grasses qu'il y a plus d'urgence à obtenir rapidement la pression.

Allumage. — Se reporter aux indications énoncées au n° 167₂ du *Gᵈ Traité* pour les précautions à prendre avant l'allumage. — En outre, mettre un peu d'eau dans le fond de chaque cendrier, afin d'éteindre immédiatement les escarbilles incandescentes qui tombent à travers les grilles. De la sorte, le fond du cendrier ne peut atteindre une température élevée, et l'échauffement des fonds du navire n'est pas à redouter. D'autre part, l'air qui pénètre à travers les grilles est plus frais et a plus d'action pour la combustion.

Dans les appareils de navire, soulever la soupape de sûreté de chaque générateur mis en fonction, jusqu'à ce que la formation de la vapeur soit produite. — Dans les appareils de canot, ouvrir dans le même but, le robinet d'échappement direct dans la cheminée ou celui de décharge. Fermer le robinet d'échap-

pement direct ou les soupapes de sûreté, au fur et à mesure que la vapeur se forme dans chaque générateur, et décoller les soupapes d'arrêt. S'il est besoin de pousser les feux, se servir du robinet d'échappement direct pour augmenter e tirage et activer par suite la combustion.

Aussitôt que la pression est obtenue, échauffer, purger et balancer la machine (n°s 176_1, et 176_2 du *Gd Traité*) en ouvrant les soupapes d'arrêt, et en purgeant l'épurateur; puis si l'on ne part pas immédiatement, manœuvrer comme il est dit ci-après au paragraphe *Rester sur les feux.* — Si la machine est mise en fonction, régler dans l'appareil de canot, l'évacuation de la vapeur dans la cheminée suivant l'activité du tirage que l'on veut avoir, et dans tous les cas, à moins d'une marche lente, tenir les feux plus actifs pendant la première heure environ, parce que, indépendamment de la vapeur à produire pour la marche, il faut encore subvenir à la dépense de chaleur absorbée par l'élévation de la température des enveloppes, de l'épurateur, du cylindre-niveau, du tuyautage de vapeur, etc.

Dispositions à prendre pendant la marche. — Voir le n° 167_4 du *Gd Traité.* — De plus, régler l'ouverture de l'échappement variable pour modérer ou activer le tirage. S'assurer de temps à autre que les organes d'alimentation, entre autres l'automoteur et la soupape de trop-plein, fonctionnent bien; vérifier de même l'automoteur d'extraction de l'épurateur. — Dans les appareils de canot, purger de temps à autre ce dernier récipient. — Entretenir toujours une nappe d'eau dans le cendrier. S'appliquer à conduire la chauffe d'une manière régulière. Tenir toujours la grille bien garnie d'une couche uniforme de combustible. Charger souvent et peu à la fois. Employer de préférence, s'il est possible, du charbon peu gras à flamme courte. Suivre pour le décrassage des grilles pendant la marche, les indications du n° 168_1 du *Gd Traité.* — Le ramonage ne s'effectue en général, dans les appareils de canot, qu'au mouillage ou pendant les arrêts. Il s'opère alors à l'aide d'une brosse en crin spéciale. Dans les appareils de navire, on emploie en marche le ramonage à la vapeur. Le tuyau de conduite de vapeur, en caoutchouc, est raccordé sur un robinet placé contre la caisse à soupapes d'arrêt et de sûreté. On introduit la lance, munie du manche en bois qui termine le tuyau, entre les éléments, et on ouvre le robinet de vapeur doucement. — Au mouillage et à froid, on passe la brosse en crin.

Le nettoyage intérieur des tubes ne s'effectue qu'après la mise bas des feux. Si pendant la marche quelques tubes ou boîtes de raccord persistaient à conserver un aspect gris alors que les autres sont noirs, cela indiquerait que le noir de fumée se brûle à leur contact, c'est-à-dire que leur température est plus élevée que celle des autres par suite des dépôts de graisse ou de sels formés à l'intérieur. — Il faudrait procéder le plus tôt possible au nettoyage intérieur de ces tubes ou de ces boîtes de raccord.

Conserver un niveau constant. Précautions relatives à l'alimentation soit en marche, soit quand on va stopper ou qu'on est déjà stoppé. — Consulter les indications énoncées aux n^{os} $169_{2,4,5}$ du *Gd Traité.* — Les oscillations du niveau de l'eau dans la chau-

dière et dans le cylindre-niveau proviennent de l'irrégularité de la chauffe et d'une alimentation défectueuse. Pour diminuer ces oscillations, on devra s'appliquer à obtenir une production régulière de vapeur par un chauffage bien conduit; il faut apporter le plus grand soin à ce que l'eau employée à l'alimentation soit aussi pure que possible, et que les différents organes de l'alimentation, pompe, injecteur, trop-plein, crépine et automoteur soient toujours dans les meilleures conditions de fonctionnement. Interroger fréquemment le tube de niveau. Observer que lorsque la machine est en marche, le niveau de l'eau dans le tube est toujours plus élevé que dans l'appareil tubulaire, parce qu'avec le fonctionnement de la machine, le courant de vapeur qui s'établit de l'appareil tubulaire au tube diviseur, produit une sorte d'aspiration qui empêche la pression dans le cylindre-niveau d'être égale à celle de la chaudière. Cet effet est encore plus sensible lorsque l'eau d'alimentation se déverse directement dans le cylindre-niveau pour passer de là dans le collecteur inférieur, parce que cette eau condense à son arrivée, une certaine quantité de vapeur.

— Pour connaître la hauteur vraie de l'eau dans la chaudière, il suffit de stopper; l'équilibre de pression s'établit dans le cylindre-niveau et dans le générateur, et le niveau accusé dans le tube est bien alors celui de l'eau dans la chaudière. — Dans les appareils de canot, il est bon en marche, de tenir toujours le niveau de l'eau au haut du tube. Dans les appareils de navire, le niveau de l'eau doit, dans les mêmes conditions, être toujours maintenu dans le tube supérieur.

Dans le cas où le robinet automoteur d'alimentation fonctionnerait d'une manière défectueuse, il faudrait le manœuvrer à la main comme un régulateur d'alimentation de chaudière; serrer un peu ses garnitures pour le maintenir dans la position voulue, ou encore tenir le contre-poids soulevé à l'aide d'un bout de fil de fer amarré contre une partie saillante du cylindre-niveau.

Abaissement notable du niveau de l'eau aux chaudières. Mesures à prendre. — Voir le n° 169_4 du *Gd Traité*. — Observer en outre que l'abaissement du niveau de l'eau dans le ou les générateurs, ne peut provenir que de l'une ou de quelques-unes des causes suivantes : 1° manque d'eau dans les caisses ou réservoirs à eau douce; 2° fuites dans le tuyautage ou dans le générateur; 3° fonctionnement défectueux de la pompe alimentaire; 4° soulèvement accidentel de la soupape de trop-plein d'alimentation; 5° obstruction de la crépine d'alimentation et fonctionnement défectueux de l'automoteur d'alimentation.

Si le niveau de l'eau baisse de plus en plus dans le tube, manœuvrer l'automoteur d'alimentation à la main, comme il est dit ci-dessus. De plus, mettre l'injecteur alimentaire en fonction, et fermer un peu la porte du cendrier pour ralentir la combustion et diminuer momentanément la vaporisation. Rechercher ensuite la cause qui produit l'abaissement du niveau, en circonscrivant, pour ainsi dire, par une investigation rapide, la partie défectueuse.

I. — S'assurer, par exemple, d'abord de la hauteur de l'eau dans les caisses. Si l'eau manque, introduire de l'eau de mer dans la caisse alimentaire, et

fonctionner avec cette eau, en observant les mesures indiquées ci-après, à l'article *chauffe à l'eau de mer.*

II. — Si l'eau est à bonne hauteur dans les caisses, jeter un coup d'œil sur le tuyautage, et inspecter rapidement le générateur, pour s'assurer s'il y a ou non des fuites. S'il y a des fuites dans le générateur, et que ces fuites soient telles qu'il est impossible de tenir le niveau (n° 175_1 du *Gd Traité*), mettre bas les feux et visiter aussitôt que possible la partie avariée. Si les fuites se produisent dans le tuyautage, agir comme on fait en pareil cas (n° 175_2 du *Gd Traité*), c'est-à-dire atténuer momentanément la fuite à l'aide d'une rousture.

III. — Dans le cas où il n'y a pas de fuites dans le générateur ni dans le tuyautage, interroger le robinet de purge de la pompe alimentaire et le tuyau de refoulement de cette pompe, pour se rendre compte de son fonctionnement (n° 178_1 du *Gd Traité*). — Si le fonctionnement de la pompe est défectueux ou laisse à désirer, agir comme il est dit au n° 196_2 du *Gd Traité.*

IV. — Si la pompe fonctionne bien, reporter son attention sur le trop-plein d'alimentation et la crépine. Si la soupape de trop-plein d'alimentation ne fonctionne pas ou fonctionne très-peu, c'est un indice qu'elle ne porte pas ou qu'elle porte imparfaitement sur son siége. Un corps dur, par exemple, peut s'être logé sous la soupape, et la maintenir soulevée. Dans ce cas, supprimer momentanément le fonctionnement de la pompe alimentaire, démonter le couvercle de la caisse à soupape, dégager et nettoyer cette dernière, remonter le couvercle de la caisse avec une limande au suif comme joint, et remettre la pompe en fonction. Lorsque le refoulement de l'injecteur se fait dans la caisse à soupape, ainsi que cela a lieu dans plusieurs appareils de canot, supprimer son emploi pendant que l'on effectue l'opération ci-dessus, et stopper la machine en prenant les précautions indiquées ci-après.

V. — Si la soupape de trop-plein fonctionne à chaque refoulement de la pompe, c'est un indice que la crépine est obstruée en partie ou totalement. Agir, dans ce cas, comme il est dit ci-avant pour la pompe. Démonter, nettoyer et remonter rapidement la crépine, en se servant dans le remontage, de joints au suif; puis remettre en marche. Si les joints fuient, les envelopper, ainsi que la boîte de la crépine, dans une large et bonne rousture.

Les diverses opérations qui viennent d'être énumérées ci-dessus doivent se faire intelligemment et le plus rapidement possible.

Dans tous les cas où l'eau disparaît complétement des tubes de niveau, il faut stopper et se rendre compte immédiatement de la cause ou des causes du manque d'eau. Si le niveau baisse dans l'une des chaudières d'un appareil de navire, il faut manœuvrer l'automoteur à la main, fermer la porte de cendrier de cet appareil pour diminuer la production de vapeur, puis s'assurer, en agissant comme ci-dessus, si les organes d'alimentation de cette chaudière fonctionnent, et s'il n'y a pas de fuites dans le générateur ou dans le tuyautage. Si le niveau baissait à la fois dans toutes les chaudières, agir comme il est dit ci-avant; diminuer l'allure de la machine et la vaporisation en fermant les cendriers. Stopper, si l'eau disparaissait complétement.

Ébullitions et projections d'eau. — Les ébullitions et les projections d'eau proviennent des causes indiquées au n° $174_{1, 2 \text{ et } 3}$, du *Gd Traité*, mais surtout d'un niveau tenu trop haut et d'une chauffe mal conduite et très-irrégulière. Il faut, en pareil cas, régulariser la chauffe et diminuer l'alimentation en agissant à la main sur le robinet automoteur, ou en surchargeant son contre-poids à l'aide des rondelles en fer *ad hoc*. Purger fréquemment l'épurateur de l'appareil de canot, et pratiquer de plus fortes extractions dans l'épurateur des appareils de navire, soit en surchargeant le contre-poids de l'automoteur d'extraction, soit en s'aidant du robinet de purge. Après avoir ramené le niveau à la hauteur voulue, régler le contre-poids des automoteurs d'alimentation et d'extraction en conséquence.

Supprimer une chaudière à la mer et en allumer une autre. — Se reporter aux indications énoncées au n° 173_4 du *Gd Traité*. — En outre suivre, pour la chaudière supprimée, les indications données à l'article ci-après : *mettre bas les feux.*

Activer ou ralentir les feux. — Voir le n° 167_3 du *Gd Traité*. — Pour augmenter l'activité des feux, ouvrir davantage la porte ou les portes de cendrier, et augmenter progressivement l'épaisseur de la couche de charbon sur la grille. Dans les appareils de canot, ouvrir un peu l'échappement dans la cheminée pour augmenter le tirage. Dans tous les cas, nettoyer les grilles à l'aide du crochet, et bien niveler le charbon. — Le ralentissement des feux s'obtiendra en fermant plus ou moins la porte ou les portes de cendrier. Dans les appareils de canot, fermer en tout ou en partie l'échappement dans la cheminée. Enfin, dans tous les cas on pourra brûler les escarbilles.

L'ouverture de la porte de fourneau et celle de la boîte à tubes ont pour effet de faire tomber la pression en refroidissant le générateur et son enveloppe. Mais ces moyens, surtout le dernier, ne doivent être employés que comme dernière ressource. On peut encore faire tomber la pression en tenant le niveau plus élevé, c'est-à-dire, en alimentant davantage. L'eau sera entraînée en plus grande abondance dans l'épurateur, d'où on l'enverra aux réservoirs par la purge ou par l'automoteur. Il ne faudrait cependant pas échauffer par trop l'eau des réservoirs, car cela pourrait nuire au fonctionnement de la pompe alimentaire.

Stoppages ou arrêts. — Si l'on est prévenu que l'on va stopper, faire un bon niveau à l'aide de l'injecteur ou du petit cheval, si la pompe alimentaire n'est pas suffisante, en tenant soulevé le levier du contre-poids de l'automoteur; et, aussitôt que l'on reçoit l'ordre de stopper, ne fût-ce que pour quelques minutes, fermer les portes de cendrier et ouvrir celles des foyers. Ouvrir aussi, de préférence à la soupape de sûreté, et pour prévenir une perte d'eau, la soupape de décharge de l'épurateur pour envoyer la vapeur en excès dans le refrigérant, d'où elle se rend, après sa condensation, dans les caisses à eau. — Dans les appareils de canot, ouvrir également le robinet de décharge, c'est-à-dire d'envoi de vapeur à l'organe d'épuisement de

l'eau de la cale, afin d'utiliser la vapeur en excès, et refaire les niveaux à l'aide du petit cheval ou de l'injecteur, si la production de vapeur est considérable.

Rester sur les feux. — Si l'arrêt doit se prolonger, en un mot, si l'on doit rester sur les feux (n° 167_1 du *G^d Traité*), attirer le charbon sur l'avant de la grille, et laisser la soupape ou le robinet de décharge de l'épurateur suffisamment ouvert, pour n'avoir que la pression à laquelle on a reçu l'ordre de se tenir. Maintenir les niveaux, si besoin est, à l'aide des alimentateurs auxiliaires, et employer le temps d'arrêt au décrassage des grilles ainsi qu'au ramonage des tubes, s'il y a lieu.

Remonter en pression. — Pour remonter en pression, niveler le charbon sur la grille et charger modérément le fourneau; fermer la porte de foyer, ouvrir celle de cendrier et fermer le robinet ou la soupape de décharge de l'épurateur. S'il y a lieu de pousser rapidement les feux, ouvrir le robinet d'échappement direct dans la cheminée pour augmenter le tirage; puis, lorsque la pression le permet, échauffer, purger et balancer la machine, et attendre les ordres en évacuant, s'il y a lieu, l'excès de vapeur par la décharge de l'épurateur. Se conformer pour la conduite des feux, à ce qui a été dit à l'article *activer ou ralentir les feux.*

Mettre bas les feux. — Si l'on reçoit l'ordre de stopper et de mettre bas les feux, effectuer cette opération en se conformant aux indications énumérées au n° 168_3 du *G^d Traité.* — Une note émanée du ministère de la marine, relativement à la conduite des appareils de canot prescrit, en pareil cas, de prendre à la pelle le charbon qui se trouve sur la grille, et de le jeter à la mer, afin d'éviter de mouiller les tôles de la chaudière. Les générateurs Belleville ne doivent jamais être vidés à l'extinction des feux, afin d'éviter le refroidissement brusque des tubes. Il serait même préférable de les remplir complétement. Se reporter par ailleurs aux indications énoncées au n° 168_4 du *G^d Traité.*

Si l'état de l'atmosphère fait présager un abaissement de température à déterminer la congélation de l'eau, il faut vider complétement le générateur par le robinet de vidange, et laisser écouler l'eau qui est dans le tuyautage, avant que la chaudière soit complétement refroidie.

Marche accidentelle à l'eau saumâtre ou à l'eau de mer. — *Appareil de canot.* — Dans les appareils de canot, où, par suite de manque d'eau dans les caisses à eau douce, on se trouve dans la nécessité de fonctionner à l'eau de mer, il faut procéder comme suit : Remplir provisoirement d'eau de mer la caisse à eau en communication avec la pompe alimentaire, faire monter le niveau de l'eau dans le générateur en déchargeant le contre-poids de l'automoteur d'alimentation, et en le manœuvrant à la main s'il y a lieu ; purger fréquemment l'épurateur ou tenir son robinet de purge ouvert d'une manière permanente, et d'une quantité telle qu'il ne sorte que de l'eau par ce robinet ; prendre de temps à autre de l'eau à la petite purge, mesurer la con-

centration de cette eau à l'aide du pèse-sels, et tenir le niveau d'autant plus haut que le degré de concentration de l'eau est plus élevé. Dans tous les cas, ne jamais dépasser 3° de concentration.

En se rendant dans l'épurateur, la vapeur entraîne une quantité d'eau d'autant plus considérable que le niveau de l'eau dans la chaudière est plus élevé. D'autre part, l'eau entraînée violemment avec la vapeur, s'oppose en partie à la cristallisation des sels dans les tubes supérieurs et enlève une notable quantité de ces sels. A son arrivée dans l'épurateur, la vapeur se sépare de l'eau et des sels qu'elle a entraînés, et ces derniers sont rejetés à la mer par le robinet de purge de l'automoteur manœuvré comme il est dit ci-dessus.

Appareil de navire. — Dans les appareils de navire où les machines sont forcément pourvues de condenseurs à surface, il peut se faire que l'eau recueillie dans les bâches à eau douce, soit saumâtre par suite de la non étanchéité des garnitures des tubes des condenseurs. Cet état de choses, préjudiciable au fonctionnement des générateurs, pourrait avoir des conséquences très-graves si l'on n'en était prévenu. Il convient donc, dans les appareils pourvus de ces sortes de condenseurs, de se rendre compte de temps à autre, au moyen du pèse-sels, de la nature de l'eau recueillie dans les bâches à eau douce. Si la présence de l'eau de mer, en plus ou moins grande quantité, est constatée, il faut opérer comme il a été dit ci-dessus; c'est-à-dire faire monter le niveau de l'eau dans les générateurs, et surcharger le contre-poids de l'automoteur de purge de l'épurateur, de façon à maintenir le degré de concentration de l'eau dans les générateurs au point voulu.

Si par suite d'un manque d'eau douce dans les réservoirs, on était dans l'absolue nécessité de fonctionner à l'eau de mer, il faudrait procéder comme suit:

Faire puiser la pompe alimentaire dans une caisse de réserve préalablement remplie d'eau de mer, et agir comme il a été dit ci-dessus au point de vue des niveaux dans les générateurs et de l'automoteur de purge de l'épurateur. Diriger le trop-plein d'alimentation dans la caisse où puise la pompe alimentaire et se servir du robinet de purge à la main de l'épurateur, soit pour produire une extraction continue, soit pour faire des extractions intermittentes. — L'eau de condensation devra être dirigée de la bâche à eau douce dans une caisse spéciale. — Enfin, on sera conduit très-probablement à diminuer l'allure de la machine, à cause des pertes de chaleur résultant des extractions. Lorsque la provision d'eau distillée obtenue en agissant ainsi sera jugée suffisante, on devra mettre la pompe alimentaire en communication avec la caisse qui contient cette eau, vider tous les récipients et tuyau dans lesquels circule l'eau de mer; et remettre la machine à l'allure normale, lorsque l'eau de mer de la chaudière aura été remplacée par l'eau distillée.

En fonctionnant à l'eau de mer ainsi qu'il vient d'être dit, on peut dans l'espace de deux à trois heures, recueillir assez d'eau pour une marche que l'on estime en moyenne à quarante-huit heures, mais qui peut être plus ou moins prolongée, suivant l'état de l'appareil au point de vue des fuites d'eau et de vapeur. Dans tous les cas, lorsque l'on aura mis bas les feux, après une marche à l'eau saumâtre ou à l'eau de mer, il faudra démonter quelques-uns des bouchons de visite des tubes et des collecteurs pour se rendre compte de l'état des

surfaces intérieures du générateur, et procéder, s'il y a lieu, à un nettoyage complet.

N° 74, Emploi des anti-calcaires. — Dans les machines pourvues de condenseurs par mélange, l'eau d'alimentation prise à la bâche est sensiblement aussi salée que celle de la mer. En effet, on a vu au n° 97, du *G^d Traité*, que la condensation d'un kilog. de vapeur exige environ 25 kilog. d'eau de mer à 12°, injectés dans le condenseur, pour que le mélange soit à la température de 40° à laquelle il convient de maintenir l'eau de la bâche. Pour peu qu'il y ait quelques entraînements d'eau, ce qui oblige à forcer l'injection, l'eau de la bâche atteint à très-peu près le chiffre de 0,035 de concentration. On a expliqué au n° 170, du *G^d Traité*, comment se comportent, dans les chaudières, les divers sels que renferme l'eau de mer, les inconvénients qu'ils occasionnent et les divers procédés employés pour atténuer ces fâcheux effets. Les extractions (n° 172, du *G^d Traité*) convenablement dirigées ont été reconnues comme le moyen le plus efficace pour éviter de trop fort dépôts ; mais elles occasionnent des dépenses d'autant plus fortes qu'elles sont plus abondantes.

Des instructions ministérielles prescrivaient de maintenir la concentration entre 2°,5 et 3° du salinomètre réglementaire, dans les chaudières fonctionnant entre 2^{at} et 2^{at}, 75 de pression absolue ; mais on a pensé que ces extractions et par suite la dépense qui en résulte, pouvaient être réduites dans des proportions notables sans augmenter sensiblement les dépôts. Cette manière de voir était basée sur ce que, à la température de 130° et à la concentration de 0,105, l'eau de mer est déjà presque complétement sursaturée par rapport au sulfate de chaux ; c'est-à-dire que ce sel est presque complétement mis en liberté, même avant que l'eau se vaporise. Dès lors, l'augmentation de la concentration ne peut avoir que peu d'effet sur la manière dont se comporte ce sel, et pourvu que l'on se trouve assez loin de la saturation par rapport au sel marin, le degré de concentration de l'eau des chaudières peut être augmenté. Dans le même ordre d'idées on a été conduit à penser que des extractions trop abondantes pouvaient, au lieu de diminuer les dépôts, contribuer à les augmenter, car les sels de chaux devenant libres dès que l'eau atteint la température de 130°, plus on introduit d'eau, plus grande doit être la quantité des sels de chaux précipités.

Des expériences faites à ce sujet sur le transport la *Creuse*, faisant le service entre Toulon et la Cochinchine, n'ont pas donné des résultats satisfaisants, et il est encore d'une bonne pratique de ne pas laisser monter la concentration au-delà de 3° du salinomètre réglementaire pour les chaudières à moyenne pression alimentées à l'eau de mer.

Il est parfaitement reconnu aujourd'hui, que c'est pendant les temps d'arrêts, alors que la vaporisation est la moins active, que la plus grande partie des sels que le courant de vapeur maintenait en suspension, se déposent sur les surfaces de chauffe. Pour prévenir ces effets, il importe de déconcentrer l'eau des chaudières pendant les temps d'arrêts, en pratiquant des extractions et des alimentations successives, ces dernières étant naturellement faites à l'aide du petit cheval, puisque la machine ne fonctionne pas.

On a également reconnu que le sel déposé à chaque période de fonctionne-

ment ne durcit réellement qu'à la période de fonctionnement suivante ; on a constaté en ouvrant les portes de regard, qu'après avoir pratiqué une très-forte extraction en arrivant au mouillage, les surfaces de chauffe n'étaient recouvertes que d'un dépôt pulvérulent et peu adhérent. Par suite, il y a un très-grand avantage au point de vue de la conservation des chaudières, à pratiquer des nettoyages aussi fréquents que possible, et à effectuer une forte extraction immédiatement après la mise bas des feux. Mais il ne faut pas que l'eau découvre le faisceau tubulaire, afin d'éviter les contractions brusques qui résulteraient de la circulation de l'air froid dans les courants de flamme, si les tubes n'étaient pas baignés par l'eau.

La dépense occasionnée par les extractions étant très-considérable, on a cherché et l'on recherche encore aujourd'hui les moyens propres à prévenir les dépôts, tout en restreignant considérablement les extractions. Les matières essayées pour combattre les incrustations et qui portent le nom générique d'*anti-calcaire*, sont très-nombreuses ; jusqu'à ce jour, aucune n'a donné une solution complète de la question, en permettant de supprimer les extractions ; mais il en est pourtant qui ont fourni des résultats partiels diminuant dans une mesure notable, les inconvénients résultant de l'alimentation à l'eau de mer.

On peut distinguer parmi ces substances, celles qui agissent par réaction chimique et celles dont l'action est purement mécanique. Citons d'abord quelques-unes des matières agissant par réaction chimique :

La *soude caustique* a été quelquefois employée avec succès pour désagréger les incrustations persistantes ; mais son prix est très-élevé.

L'*hyposulfite de soude* a la propriété d'augmenter la solubilité du sulfate de chaux ; malheureusement ce sel est trop cher pour qu'on puisse songer à l'employer ; et, du reste, des extractions périodiques seraient nécessaires malgré tout ; elles pourraient seulement être moins abondantes.

Le *sel ammoniac* a été l'objet de nombreux essais et de rapports très-favorables de la part de chimistes et d'ingénieurs anglais. Ce sel, comme le précédent, élève la limite de solubilité du sulfate de chaux et empêche son adhérence aux parois lorsqu'il se dépose. Le prix de ce sel est bien moins élevé que celui des sels dont il a été question ci-dessus ; on pourrait, par conséquent, l'employer avantageusement, au point de vue de l'économie de combustible, et cela permettrait de réduire les extractions dans de notables proportions ; mais un excès de ce sel peut déterminer l'oxydation rapide des tôles.

L'*acide chlorhydrique* décompose les carbonates de chaux et de magnésie, en formant des chlorures de calcium et de magnésium, et dégageant l'acide carbonique. Son prix est peu élevé ; mais le moindre excès de ce réactif attaque les parois des chaudières, aussi convient-il d'en rejeter l'emploi.

Les substances contenant une certaine proportion de tannin, telles que l'*écorce*, la *sciure de bois de chêne*, le *tan*, les *déchets de cuir*, etc., ont également été employées dans les chaudières ; ces matières forment avec la chaux un tannate basique de chaux insoluble, mais non adhérent. Seulement, ces matières ont l'inconvénient de pouvoir être entraînées par la vapeur et d'engorger les tuyaux et les robinets.

Citons maintenant des matières dont l'effet est seulement mécanique :

Les *pommes de terre*, l'*amidon*, la *farine de lin*, le *son*, la *gomme*, etc., donnent à l'eau une certaine viscosité qui s'oppose au durcissement des dépôts.

Les substances grasses, comme l'huile et le suif, empêchent l'adhérence des dépôts en s'interposant entre eux et la tôle; mais les matières grasses ont le grave inconvénient de provoquer des ébullitions fréquemment accompagnées de projection d'eau.

Désincrustant Féron. — Ce désincrustant est tout simplement du warech haché que l'on introduit dans la chaudière, soit par le trou d'homme avant l'allumage, soit pendant la marche, par un gros robinet à réservoir central semblable aux graisseurs de cylindre à doubles robinets. Ce produit, essayé sur plusieurs bâtiments en 1875 et 1876, a d'abord donné lieu à des rapports favorables; mais il est actuellement abandonné, son efficacité ayant été reconnue très-douteuse.

Zinc. — Le produit qui jusqu'à ce jour semble avoir donné le meilleur résultat, au point de vue de la facilité de l'enlèvement des dépôts, est le zinc. Une dépêche ministérielle enjoint de l'employer dans les chaudières des machines pourvues de condenseurs à surface. — Le zinc a aussi été essayé sur le *Limier*, pourvu d'une machine à condensation par mélange, et les résultats ont été favorables au point de vue de la non adhérence du sel, que l'on détachait très-facilement, à la main, soit sur les ciels des fourneaux, soit sur les tubes. Les extractions avaient d'ailleurs été conduites de manière à maintenir la concentration à 3° du salinomètre réglementaire. Ce n'est pas, en effet, au point de vue de la diminution des extractions que l'emploi du zinc peut être avantageux, mais seulement au point de vue de la facilité de l'enlèvement des dépôts.

Anti-calcaire Froideville. — Ce produit est composé de 0,20 de fécule de pomme de terre, 0,06 de soude caustique et 0,74 d'eau. Avec les chaudières à moyenne pression, la dépense est d'environ 1^{kg} par tonneau d'eau vaporisée. L'anti-calcaire doit préalablement être dissous dans 3 fois son volume d'eau, puis il peut être envoyé dans la chaudière au moyen du petit cheval. Les résultats des essais faits au port de Brest ont été très-satisfaisants, tant que la pression n'a pas dépassé $3^{at},25$; et la concentration a pu être élevée jusqu'à 8° du salinomètre, en faisant une extraction par le fond, toutes les 24 heures, pour chasser les boues. Mais, avec la pression de 6^{at}, et une concentration de 5° au salinomètre, et bien que la dose d'anti-calcaire fût doublée, il s'est formé des dépôts adhérents.

Ce produit a encore été essayé comme *anti-oléique*, à raison de 1^{kg} par kilogramme d'huile; mais les résultats n'ont pas été tout à fait satisfaisants, car les dépôts recueillis aux chaudières contenaient 11 p. 100 de fer. D'autre part, l'eau recueillie au réfrigérant a toujours eu un goût empyreumatique prononcé.

Les divers produits que nous venons d'examiner ne peuvent prévenir, d'une manière absolue, les dépôts dans les chaudières marines alimentées à l'eau de mer. Jusqu'à ce jour, le seul palliatif réellement salutaire est l'extraction

convenablement dirigée, et encore faut-il, pour que l'efficacité soit réelle, que la pression absolue ne dépasse pas 3 atmosphères.

Chaudières alimentées à l'eau douce naturelle. — Toutes les eaux douces, à l'état naturel, contiennent une certaine quantité de bi-carbonate de chaux. La plupart renferment aussi du sulfate de chaux, du chlorure de calcium, du chlorure de magnésium et du sulfate de magnésie; en général, ces deux derniers sels sont en très-faible proportion.

La majeure partie des sels de chaux se dépose dès les premiers moments de l'ébullition, par l'effet du dégagement d'acide carbonique. Ce dépôt affecte la forme vaseuse et donne peu de concrétion. Mais une partie de ce sel reste en dissolution, et c'est cette partie qui, en se précipitant lentement et au fur et à mesure que la vaporisation se fait, forme le tartre que l'on observe sur les surfaces de chauffe des chaudières alimentées à l'eau douce.

Le nettoyage des tubes des chaudières ainsi alimentées à l'eau douce naturelle, a d'abord été fait en grattant les tubes avec des outils appropriés; mais ce travail est très-long et très-coûteux en raison de la dureté de la croûte et de la difficulté que l'on éprouve à atteindre les tubes placés au centre du groupe. L'adoption d'un certain nombre de tubes démontables facilite, il est vrai, ce nettoyage; mais, malgré tout, le nettoyage ne cesse pas que d'être long, et les tubes sont toujours un peu détériorés à la suite de cette opération.

Appareil désincrustant Field. — Pour empêcher la formation du tartre adhérent dans les chaudières de son système, M. *Field* a proposé de combattre l'incrustation au moyen de l'électricité. — Suivant l'inventeur, il existe dans toutes les chaudières un courant électrique naturel; ou, en d'autres termes, une chaudière remplie d'eau et chauffée, constitue une véritable batterie électrique développant un courant d'électricité. Les tôles se trouvent ainsi dans des conditions très-favorables pour recevoir les dépôts et les matières solides adhérentes; mais une action électrique intérieure, suffit pour empêcher les incrustations de se produire.

L'appareil désincrustant *Field* se compose d'une tige métallique traversant la paroi de la chaudière, en passant dans des presse-étoupe formés de corps mauvais conducteurs de l'électricité; cette tige porte, à sa partie inférieure, une cloche ou capsule métallique renversée qui plonge dans l'eau de la chaudière. Le sommet extérieur de la tige est mis en communication avec le pôle négatif d'une pile formée de deux éléments, et le pôle positif de la pile est mis en communication avec la paroi de la chaudière.

D'après l'inventeur, l'application de cet appareil, qui date de plusieurs années, n'a jamais présenté le moindre inconvénient, et les parois des chaudières sur lesquelles il a été établi ont toujours été parfaitement nettes. En un mot, cet appareil aurait donné d'excellents résultats, et les dépôts se formeraient à l'état boueux. Il suffirait d'un nettoyage, plus ou moins fréquent suivant la nature des eaux employées, pour conserver la chaudière dans un parfait état de propreté; ces nettoyages se feraient d'ailleurs très-rapidement, puisque les dépôts ne seraient nullement adhérents.

Autres appareils désincrustants. — Plusieurs autres appareils également propres

à combattre les incrustations à l'aide de l'électricité, ont été brevetés en Angleterre et en Amérique.

Nous citerons en passant l'appareil imaginé par M. *G. Tracey-Parry* et celui inventé par M. *Baker*. L'appareil de M. *Tracey-Parry* se compose d'un long tube de cuivre formant un conducteur attaché à la paroi supérieure de la chaudière, mais isolé électriquement de cette paroi, et relié par un fil à une autre partie de la chaudière. Ce conducteur porte à chaque extrémité un renflement auquel sont fixées un certain nombre de pointes magnétiques. Le conducteur avec ses pointes magnétiques est placé directement au-dessus du ciel du foyer ou dans la chambre à vapeur. — Les rapports sur le fonctionnement de cet appareil ont été, en général, favorables.

L'appareil *Baker*, que l'on construit actuellement chez MM. *Kitson et Cie*, à *Leeds*, comporte une pièce en platine qui constitue la partie principale de l'appareil; cette pièce a la forme d'un disque présentant un certain nombre de tiges terminées en pointes fines et disposées symétriquement suivant des rayons. Les axes de ces tiges ne sont pas placés tout à fait dans le plan du disque, mais suivant les génératrices d'un cône très-évasé.

Cette sorte d'étoile se place horizontalement, les pointes dirigées vers le bas, dans le haut du coffre à vapeur et en plein dans le courant de vapeur qui se rend dans la machine. Elle est reliée d'une manière solide à la tôle de la chaudière par un support mauvais conducteur de l'électricité.

Un fil de cuivre assez gros est soudé au bout d'une tige qui fait corps avec l'étoile, et met celle-ci en communication avec un point éloigné de la paroi non mouillé de la chaudière. Ce fil est isolé électriquement sur tout son parcours et aboutit par une soudure à une borne métallique qui est soigneusement reliée à la tôle du générateur.

Les effets de l'appareil *Baker* ont été très-variables. D'une part, les journaux anglais rapportent des faits de désincrustation et de préservation remarquables, constatés sur des chaudières alimentées à l'eau de mer aussi bien que sur celles alimentées à l'eau douce. Plusieurs industriels notamment, MM. *Farcot père et fils* témoignent des résultats satisfaisants qu'ils ont obtenus de cet appareil. D'autre part, la Compagnie transatlantique et divers industriels n'ont pu réussir, malgré de nombreux essais, à empêcher par ce moyen l'incrustation de leurs chaudières.

Parmi les hypothèses proposées pour expliquer les effets de l'électricité dans l'appareil, voici celle qui nous paraît la plus acceptable. La vapeur, en passant sur l'étoile, décompose son fluide neutre et la charge d'électricité, ainsi que le fil conducteur et la paroi intérieure de la chaudière. On conçoit donc que les particules solides, lorsqu'elles viennent en contact avec cette paroi, se chargent d'électricité de même nom et soient immédiatement repoussées.

Quand on réussit à bien préserver l'étoile de toute altération, à bien assurer la conductibilité et l'isolement du fil de cuivre, les effets sont vraiment remarquables. On a retiré de plusieurs chaudières des blocs énormes d'incrustation qui se sont peu à peu ramollies et détachées. On a constaté, dans plusieurs cas, qu'après deux ou trois nettoyages qui débarrassaient la chaudière des dépôts

préexistants, il ne s'y formait plus d'incrustation, mais seulement des boues sans adhérence que des lavages faisaient facilement disparaître.

CHAP. IV, § 3. — CONDUITE DES MACHINES.

N° 75. — 1. Précautions à prendre pour la mise en marche et pendant la marche des machines Woolf des divers types. — 2. Conduite des condenseurs à surface. — 3. Appareil Hétet et Risbec pour dégraisser l'eau d'alimentation.

N° 75_1 Précautions à prendre pour la mise en marche et pendant la marche des machines Woolf des divers types. — Presque toutes les règles de conduite développées au chap. IV, § 3 du *Gd Traité*, sont applicables aux machines Woolf. Nous y renverrons le lecteur, en nous contentant d'expliquer ce qui est particulier aux nouvelles machines.

Dispositions à prendre avant le départ. — Se reporter aux indications du n° 176_1 du *Gd Traité.* — En outre, s'assurer, en le faisant manœuvrer, du bon fonctionnement du porteur d'ordres du pont à la machine. De plus, lors de l'allumage des feux, ou peu après, ouvrir en partie les soupapes d'arrêt et les valves de vapeur, d'abord pour que ces organes ne se coincent pas, et en outre, pour que l'air chaud et la première vapeur formée à la chaudière, puissent circuler dans les tuyaux, les chemises et les boîtes à tiroir, et échauffer ainsi lentement et progressivement la machine. — Lorsque la pression aux chaudières est suffisante, ouvrir les prises d'eau des pompes de circulation ainsi que les obturateurs de décharge de ces pompes et ceux des pompes à air. — Faire marcher les petits chevaux et les pompes de circulation, si elles sont indépendantes, afin de s'assurer du bon fonctionnement de ces machines. Conserver d'ailleurs les pompes de circulation en marche, mais à une allure modérée. — Amorcer les pompes à air, au moyen du réparateur, et faire à moitié le plein des bâches à eau douce.

Si la machine possède des organes de détente variable, les déclancher, ou bien, suivant le cas, ouvrir la soupape qui supprime leur fonctionnement, ou les disposer de manière qu'ils fournissent la plus forte période d'introduction. S'il existe un régulateur, le disposer pour la plus grande vitesse, afin que les sections d'ouverture des registres soient suffisantes pour assurer le départ. Le régulateur se réglera ensuite en marche pour le nombre de tours demandé. — Afin de faciliter

la manœuvre des tiroirs, desserrer légèrement leurs garnitures ou celles de leurs compensateurs, en prenant toutefois la précaution de desserrer bien carrément. On ne réglera le serrage définitif que pendant la marche, en ayant bien soin d'agir avec prudence pour ne pas faire un serrage exagéré. Cette dernière recommandation s'applique tout particulièrement aux tiroirs qui ont des garnitures métalliques. Nous ferons remarquer que, d'une manière générale, le serrage des garnitures des tiroirs aussi bien que de celles des pistons des machines Woolf, doit toujours être modéré. Cela tient à ce que, pour le ou les cylindres détendeurs, la différence des pressions, en vertu de laquelle les fuites se produisent, ne dépasse jamais $1^{at},5$; pour le cylindre admetteur, cette différence est plus grande dans les machines à haute pression, mais les petites fuites ont peu d'importance, puisque la vapeur se rend au cylindre détendeur.

Échauffer la machine; purger le condenseur. — Se reporter aux indications du n° 176_2 du *G^d Traité.* — En outre, échauffer progressivement la machine en ouvrant, comme nous l'avons dit, les soupapes d'arrêt dès l'allumage des feux, et en établissant la communication du tuyau de vapeur avec les cylindres détendeurs, ainsi qu'avec les chemises de tous les cylindres et les doubles-fonds de leurs couvercles. Les divers robinets de purge restent ouverts pendant cette opération. — Déplacer les manivelles de temps à autre afin de pouvoir amener la vapeur dans chacun des bouts de cylindres, et de bien échauffer ces récipients.

S'il est nécessaire de purger les condenseurs et d'y établir le vide avant la mise en marche, commencer par fermer les purges des cylindres. Puis, envoyer directement la vapeur au condenseur, soit au moyen de la soupape de décharge des chaudières au condenseur, soit en manœuvrant la mise en train après avoir ouvert les valves d'introduction directe aux cylindres détendeurs. L'opération s'achève ensuite comme il est indiqué au n° 176_2 du *G^d Traité.*

La purge du condenseur ne s'effectue presque jamais avec les machines Woolf, parce que ces machines fonctionnent à une pression suffisamment élevée pour dispenser de cette opération. D'ailleurs, avec les condenseurs à surface, la purge du condenseur est extrêmement difficile à cause de la grande quantité d'eau que renferment les tubes; cette eau condense la vapeur pendant très-longtemps, et l'empêche de garder une pression suffisante pour chasser l'air que le con-

denseur renferme. — D'autre part, il importe de remarquer qu'avec une mise en train Mazeline, il est toujours dangereux d'établir le vide au condenseur; car lors des manœuvres, la machine peut partir avant l'arrivée à bloc de la mise en train, et on est exposé à faire des avaries.

Balancer. — Se reporter au n° 176_2 du *Gd Traité.* — Faire exécuter à la machine, et alternativement, quelques tours en avant et quelques tours en arrière, en suivant d'ailleurs les indications de l'article ci-après.

Mettre en marche; régler la vitesse; stopper et renverser la marche. — Nous allons indiquer successivement les différentes manières de procéder pour manœuvrer l'appareil moteur, suivant le genre de machine, le nombre et la disposition des cylindres, et le mode de condensation. Pour les machines ordinaires à condensation par mélange, à deux cylindres indépendants, il suffit de se reporter au n° 176_3 du *Gd Traité.* — Examinons les machines autres que ces dernières.

1° Machine a un seul cylindre. — Ce genre de machine ne peut partir, quelle que soit d'ailleurs la pression de la vapeur, si la manivelle n'a pas dépassé son point mort d'une quantité suffisante pour que le couple moteur de départ (n° 71_4) soit capable de vaincre les frottements et l'inertie des pièces. Lorsqu'une semblable machine est stoppée aux environs d'un point mort, il est nécessaire de la virer à bras d'une certaine quantité pour changer la position de sa manivelle. — Par ailleurs, pour que la machine puisse être lancée dans l'un quelconque des deux sens de la rotation, il faut évidemment qu'en plaçant convenablement la mise en train, l'introduction ne soit fermée pour aucun des bouts du cylindre. Aussi, est-ce toujours vers la demi-course de son piston que l'on stoppe la machine, ou qu'on la ramène par une manœuvre intelligente de la mise en train et de la valve.

Le genre de machine qui nous occupe ne se rencontre guère que sur les canots à vapeur, et fonctionne généralement sans condensation. La mise en marche s'effectue en ouvrant d'abord le registre de vapeur et les purges de la boîte à tiroir et du cylindre; puis on porte vivement le secteur à la suspension qui convient à la marche à produire. On donne ainsi à l'appareil une impulsion capable de lui faire franchir le premier point mort, bien que le piston n'ait à parcourir que la moitié de sa course. — On règle le nombre de tours, soit en modifiant la sus-

pension du secteur, ce qui permet de faire varier le degré de détente, soit par la manœuvre de la valve.

2° MACHINES A TROIS CYLINDRES INDÉPENDANTS. — Ces machines fonctionnent à une période d'introduction maximum de 0,40, obtenue au moyen d'un organe de détente variable sans déclanche. — Pour mettre ces appareils en marche, il faut ouvrir la communication des boîtes à tiroir des trois cylindres, qui consiste en des tuyaux et des robinets *ad hoc;* de cette façon, le fonctionnement des organes de détente est supprimé. — Cela fait, la machine se manœuvre ainsi qu'il est indiqué au n° 176_3 du *G^d Traité*, en fermant les purges des cylindres et la communication des boîtes à tiroir dès que les purges ne donnent plus d'eau.

3° MACHINES WOOLF, A TROIS CYLINDRES CÔTE A CÔTE POINTS MORTS A 90° ET 135°. — Ces machines sont encore les plus nombreuses sur les bâtiments de la flotte française. Pour assurer le départ, il faut introduire directement de la vapeur dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs, en ouvrant les valves ou les soupapes à ce destinées. — Le fonctionnement des organes de détente, quand ces organes existent, est suspendu, et les purges des cylindres sont tenues ouvertes. — On place la mise en train dans la position convenable pour la marche commandée, puis on ouvre petit à petit, et simultanément, les registres principaux de vapeur et les registres additionnels; on ouvre également, s'il existe, le robinet établissant la communication entre les deux faces du piston du cylindre admetteur. Dès que la machine s'est mise en mouvement, et que les purges des cylindres ne donnent plus d'eau, on ferme ces purges, ainsi que les registres additionnels et le robinet dont il vient d'être question. — Si la pompe de circulation est indépendante, elle sera mise en marche avant la machine, mais à une allure modérée, que l'on accélèrera ensuite suivant le besoin. — Si la pompe de circulation est mue par la machine elle-même, il n'y a pas à s'occuper de sa mise en action; il suffit d'avoir ouvert sa prise d'eau et son obturateur de décharge. — Si la condensation s'effectue par mélange, on opère comme pour les machines ordinaires, mais en fermant de bonne heure les purges des cylindres.

La vitesse se règle au moyen de l'organe de détente du cylindre admetteur, quand il existe, et à défaut, avec les valves de ce cylindre.

Pour stopper, on commence par supprimer le fonctionnement des détentes variables, puis on ferme les registres et l'injection dans le cas d'une condensation par mélange. La fermeture des registres suffit si la

condensation s'effectue par surface. En même temps, on ouvre les purges des cylindres, puis on manœuvre la mise en train pour l'amener au milieu de son parcours.

Quelle que soit la durée de l'arrêt, il n'est pas nécessaire de stopper les pompes de circulation si elles sont indépendantes ; on se contente de modérer l'allure de la petite machine qui les met en mouvement. Le fonctionnement continuel des pompes de circulation permet de maintenir le condenseur à une température convenable, et de plus, la dépense de vapeur de cette petite machine empêche la pression de monter aussi rapidement aux chaudières. Si par ailleurs, les tuyaux d'échappement de vapeur des chaudières aboutissent aux condenseurs, la marche des pompes de circulation devient indispensable tant que les soupapes de sûreté sont ouvertes ; l'allure de ces pompes se règle d'après le débit de vapeur des soupapes.

On doit prendre, en outre, tant pour la machine que pour les chaudières, les précautions indiquées au n° 176_8 du *G^d Traité*.

4° Machine Woolf, a deux ou a un plus grand nombre de paires de cylindres bout a bout points morts a 90° ou 120°. — Dans ce genre de machine, il y a deux vilebrequins calés à 90°, ou trois vilebrequins calés à 120°, ou enfin quatre vilebrequins à angle droit. — Lorsque la machine ne comporte que deux paires de cylindres, il faut, pour que la mise en marche soit assurée, que la période d'introduction aux cylindres détendeurs, soit au moins égale à 0,60. — Après avoir placé la mise en train dans la position qui convient à la marche à produire, on ouvre les valves d'introduction directe dans les cylindres détendeurs, en même temps que la valve principale permettant l'introduction dans les boîtes à tiroir des cylindres admetteurs. De cette façon, les pistons des cylindres admetteurs reçoivent une même poussée sur leurs deux faces, du moins pendant la période d'introduction, et les pistons des cylindres détendeurs déterminent le mouvement. — Si l'une des paires de cylindres se trouvait avoir ses pistons dans une position comprise entre la fin de l'introduction et le commencement de l'avance à l'évacuation, la vapeur introduite dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur viendrait agir à-contre de la marche sur le piston du cylindre admetteur correspondant, de sorte que ce dernier tendrait à s'opposer au mouvement que devrait déterminer le piston du cylindre détenteur de l'autre paire. La machine pourrait alors éprouver de très-grandes difficultés à partir, et pourrait même ne pas partir, suivant la position des manivelles. En pareille occurrence, il ne faut ouvrir d'abord, que

la valve d'introduction directe qui convient au cylindre détendeur dont le piston se trouve dans la période d'admission; puis, lorsque le mouvement est déterminé, et que la manivelle de l'autre paire de cylindres atteint le point mort, on ouvre le registre additionnel correspondant. — Après un tour ou deux, on ferme les registres additionnels et on règle l'ouverture du registre principal.

Dans quelques machines de ce type, les cylindres détendeurs possèdent des tiroirs spéciaux permettant d'introduire directement dans les orifices de ces cylindres, au lieu d'introduire dans leurs boîtes à tiroir. Avec cette disposition, on peut donner de la vapeur aux cylindres détendeurs quelle que soit la position de leurs manivelles, et la manœuvre est beaucoup plus sûre.

Les variations de vitesse s'obtiennent en modifiant l'introduction aux cylindres admetteurs, par l'organe de détente variable dont ces cylindres sont généralement pourvus, et puis, en dernier ressort, par les registres. — On stoppe en fermant les valves de vapeur et en ouvrant les purges des cylindres; puis on suspend le fonctionnement de l'organe de détente variable.

Les pompes de circulation indépendantes se manœuvrent comme il est dit ci-dessus.

Les machines à plus de deux paires de cylindres, se mettent en marche ainsi qu'il vient d'être expliqué, mais avec plus de facilité, en raison du nombre de manivelles.

5° Machines Woolf, a deux cylindres côte a côte points morts a 90°. — Dans ces machines, il existe habituellement un petit tiroir de manœuvre, permettant d'introduire directement de la vapeur, non dans la boîte à tiroir du cylindre détendeur, mais dans les orifices mêmes de ce cylindre. Avec cette disposition, il est toujours possible de déterminer le départ de la machine, pourvu que la manivelle du piston du cylindre détendeur ne soit pas trop près d'un de ses points morts. Le tiroir de manœuvre, disposé comme nous venons de l'indiquer, permet de purger le condenseur avant le départ, si cette opération est nécessaire.

Quoiqu'il en soit, pour mettre en marche une machine du genre qui nous occupe, il faut d'abord manœuvrer la mise en train dans le sens convenable pour la marche commandée; puis, ouvrir le registre principal permettant l'introduction dans la boîte à tiroir du cylindre admetteur. Cela fait, examiner la position de la manivelle du cylindre détendeur et manœuvrer le tiroir additionnel de façon que la vapeur de la chaudière vienne exercer son action sur la face convenable pour

déterminer le mouvement dans le sens commandé. Lorsque la machine est lancée, on ramène le tiroir de manœuvre à mi-course et on règle l'ouverture du registre principal, les organes de détente, l'allure des pompes de circulation, si elles sont indépendantes, jusqu'à ce que l'on atteigne la vitesse commandée.

Les modifications de la vitesse s'obtiennent au moyen de l'organe de détente du cylindre admetteur, et en dernier ressort par le registre. On règle d'ailleurs l'allure de la pompe de circulation d'après la vitesse de la machine. Pour stopper rapidement avec ces machines, il est parfois nécessaire de faire tomber le vide du condenseur en ouvrant les purges des cylindres; sans cette précaution, la machine tourne encore pendant quelque temps sous l'influence de la vapeur renfermée dans les espaces neutres et de celle que laisse passer la valve en raison de son imparfaite étanchéité. Toutefois, comme la mise en train est toujours à secteur, on peut se dispenser d'ouvrir les purges en ramenant le secteur à mi-course. — Le renversement de marche, s'il y a lieu de le produire, s'effectuera beaucoup plus facilement et plus rapidement si l'on a gardé le vide au condenseur.

N° 75, Conduite des condenseurs à surface. — Les condenseurs à surface exigent des soins spéciaux qu'il faut prendre à l'égard de ces organes, soit avant la mise en marche, soit pendant la marche, soit pendant un arrêt, soit enfin à un arrêt définitif de l'appareil moteur.

Soins à donner aux condenseurs à surface avant la mise en marche. — Avant l'appareillage, lorsque les pompes de circulation sont mues par la machine elle-même, on fait le plein des chambres à eau de ces récipients. Cette opération s'exécute en ouvrant la prise d'eau et l'obturateur de décharge.

Si la pompe de circulation agit par aspiration, il faut ouvrir les robinets d'air placés à la partie supérieure des coquilles. — Si la partie supérieure des condenseurs est au-dessous de la flottaison, le plein se fera ainsi naturellement; dans le cas contraire, le plein se complètera lors de la mise en marche de la pompe de circulation. Si pendant la purge des cylindres, on craint que les tubes supérieurs s'échauffent un peu trop on peut faire fonctionner le réparateur. — On amorce la pompe à air et on fait le plein de la bâche à eau douce, en ouvrant le réparateur de manière à établir la communication entre les coquilles et la chambre à eau du condenseur. L'eau filtre ainsi entre les clapets du

condenseur remplit la chambre de la pompe à air, puis soulève les clapets de bâche pour passer dans ce récipient. On laisse ainsi le niveau s'élever jusque vers le milieu du tube indicateur de la bâche; puis on ferme le réparateur.

Si les pompes de circulation sont mues par la machine, il n'y a pas à s'en occuper. Lorsqu'elles sont indépendantes, il faut les mettre en marche dès que la machine est échauffée; mais à une allure modérée, que l'on accélère plus tard suivant le besoin.

Soins à donner aux condenseurs à surface pendant la marche. — Il faut consulter fréquemment l'indicateur du vide. Si la pompe de circulation est conduite par la machine, il n'y a pas à s'en occuper au point de vue de la quantité d'eau qu'elle débite; mais il faut surveiller son fonctionnement. Si la pompe de circulation est indépendante, il faut régler son allure pour obtenir le meilleur vide possible avec une température de 35° à 40° pour l'eau de la bâche à eau douce.

Afin que l'alimentation soit continue, et que l'on ne s'expose pas, d'une part, à perdre de l'eau douce par le robinet de décharge accidentelle, ou, d'autre part, à refouler de l'air dans les chaudières; il importe que le niveau de l'eau dans la bâche à eau douce soit toujours à bonne hauteur (vers le milieu du tube indicateur). A cet effet, il faudra faire en sorte que les régulateurs d'alimentation étant bien réglés, le réparateur ne soit ouvert que de la quantité strictement nécessaire pour conserver les niveaux constants aux chaudières et aux bâches.

Par ailleurs, on dégraissera l'eau d'alimentation, ainsi qu'il est expliqué ci-après (n° 75_8), en introduisant très-régulièrement le lait de chaux dans le condenseur.

Si pendant le fonctionnement l'on s'aperçoit que le niveau de l'eau des chaudières se maintenant à bonne hauteur, le niveau des bâches à eau douce augmente malgré la fermeture des réparateurs, c'est un indice certain que les tubes ne sont pas étanches et qu'une certaine quantité d'eau de circulation tombe dans la chambre à vapeur du condenseur. Si la fuite est considérable, ce dont on s'aperçoit au fonctionnement de la décharge accidentelle, il faut, pour éviter les dépôts salins aux chaudières, fonctionner à une pression plus faible, ne dépassant pas $3^{at},00$ absolus, puis pratiquer des extractions en rapport avec la gravité de la fuite.

En marche, il est de toute impossibilité de remédier à des fuites

intérieures des tubes. Mais cette opération doit être effectuée dès l'arrivée au mouillage, ou mieux, dès que les circonstances permettent de se passer du fonctionnement de la machine. On découvrira les tubes par lesquels les fuites se produisent, en opérant ainsi qu'il suit : 1° vider complétement tous les conduits de l'eau de circulation et démonter les coquilles ; 2° remplir d'eau la chambre à vapeur du condenseur, soit au moyen d'une pompe à incendie par le trou d'homme, soit à l'aide du petit cheval ou de l'injection par mélange, si le tuyautage le permet. Il va de soi qu'avant ce remplissage, il aura été nécessaire de fermer la purge de la chambre à vapeur du condenseur, ainsi que l'obturateur du tuyau de décharge accidentelle, si le débouché de ce tuyau à l'extérieur se trouve plus bas que le sommet du condenseur. Ces opérations étant effectuées, il sera facile de reconnaître les tubes dont il faut refaire les garnitures.

Soins à donner aux condenseurs à surface pendant un temps d'arrêt sous vapeur. — Pour éviter qu'un condenseur à surface, dont le sommet est au-dessus de la flottaison, s'échauffe pendant un stoppage d'une certaine durée, il faut fermer la prise d'eau et réduire l'ouverture de l'obturateur de décharge de la pompe de circulation, et faire refouler le petit cheval dans les coquilles inférieures (n° 48_1). — Au besoin, on ouvrirait de temps à autre le réparateur, en laissant écouler l'eau à la cale par les tuyaux de vidange du condenseur.

Si la pompe de circulation est indépendante, et dans ce cas, quelle que soit la position du sommet du condenseur par rapport à la flottaison, on devra faire fonctionner cette pompe, mais à une allure modérée.

Remarque. — Les condenseurs à surface sont exposés à des accidents analogues à ceux qui sont indiqués au n° 177_8 du G^d *Traité*, et qui sont relatifs aux condenseurs par mélange. Pour parer à ces accidents ou les conjurer, il suffit d'agir ainsi qu'il est indiqué à ce numéro.

Soins à donner aux condenseurs à surface à l'arrêt définitif de l'appareil moteur. — Afin d'obtenir un bon vide et une condensation rapide en réduisant le plus possible le travail de la pompe de circulation, il est de la plus haute importance de maintenir les tubes du condenseur dans un parfait état de propreté et d'empêcher qu'ils soient recouverts par les matières grasses qui sont très-mauvaises conductrices de la chaleur. Pour ces motifs, il convient de réduire le grais-

sage des cylindres au strict nécessaire, ainsi qu'il a été dit au n° 74_1. Il faut, en outre, chaque fois que les circonstances le permettent, procéder au nettoyage intérieur du condenseur. Ce nettoyage peut s'effectuer de deux manières différentes : à la vapeur ou par un lessivage. Pour nettoyer les tubes à la vapeur, il convient de prendre les dispositions suivantes. Lors d'un stoppage définitif, on conserve aux chaudières une certaine pression après la mise bas des feux; puis, après avoir fermé les robinets d'entrée et de sortie de l'eau de circulation, on vide la chambre à eau du condenseur à l'aide d'un tuyautage *ad hoc;* mais on conserve l'eau qui est dans le fond de la chambre à vapeur, afin de laisser les clapets en caoutchouc immergés. Cela fait, on introduit de la vapeur dans le haut et dans le bas du condenseur au moyen d'un tuyautage spécial destiné à cet effet, et l'on fait en sorte que la température de cette vapeur n'excède pas 100°, afin de ne pas détériorer les clapets.

Pendant cette opération, les matières grasses recouvrant les tubes sont fondues par la vapeur, et tombent dans le fond de la chambre à vapeur, d'où on les extrait en vidant ce compartiment. — Il faut vingt-cinq minutes environ pour effectuer l'opération qui nous occupe.

Le deuxième procédé consiste, après avoir vidé la chambre à eau du condenseur, à remplir la chambre à vapeur avec une forte dissolution de soude caustique ou de potasse, et d'agiter le mélange afin de favoriser la fusion des matières grasses. On peut, comme pour le premier moyen, introduire, principalement par le bas, une certaine quantité de vapeur qui élèvera la température et déterminera une agitation favorable à l'exécution de l'opération. L'eau savonneuse, résultant du mélange ainsi obtenu, sera extraite par les purges du condenseur, dans des seaux que l'on aura la précaution de disposer au débouché de ces purges, afin de ne pas salir la cale.

Les matières grasses détériorent les clapets et peuvent en gêner le fonctionnement; en conséquence, chaque fois que les circonstances le permettront, il conviendra d'ouvrir les bâches, les condenseurs et les pompes à air et de nettoyer aussi bien que possible ces récipients ainsi que les clapets. Ce nettoyage peut s'effectuer d'abord à la gratte, puis en frottant les clapets avec une brosse trempée dans une dissolution tiède de potasse ou de soude caustique.

N° 75_3 Appareil Hétet et Risbec pour dégraisser l'eau d'alimentation. — Les matières grasses introduites dans la vapeur

pour lubrifier les tiroirs et les cylindres, sont en partie décomposées par la chaleur en acides gras et en glycérine. L'eau d'alimentation apporte par suite aux chaudières un mélange de matières grasses, d'acides gras et de glycérine. — Sous l'influence de la chaleur, la décomposition commencée aux cylindres s'achève dans la chaudière, et, finalement, l'eau des chaudières renferme uniquement de la glycérine (corps neutre) et des acides gras. Ces derniers ne tardent pas à attaquer les tôles en formant des dépôts noirs et onctueux qui sont un mélange de savon de fer (oléate, stéarate ou margarate, suivant l'acide), et d'oxyde de fer en proportion variable. Ces dépôts sont très adhérents, s'enlèvent difficilement, et les tôles qu'ils recouvrent sont exposées à de dangereux coups de feu.

Si les tubes du condenseur, qui sont en laiton ou en cuivre rouge, ne sont pas étamés, ou bien ne sont pas recouverts d'une couche suffisante de matière grasse non décomposée, les acides gras, devenus libres dans le cylindre, attaquent les tubes du condenseur et forment des sels de cuivre. Ces derniers étant transportés aux chaudières par l'eau d'alimentation, sont décomposés par la tôle qui s'empare de l'acide et met le cuivre en liberté. Ce cuivre peut alors former pile galvanique avec la tôle et ajouter son effet destructeur à celui des acides gras.

M. Hétet, pharmacien en chef de la marine, et *M. Risbec*, ingénieur de la marine, ont imaginé de neutraliser les acides gras au moyen d'un lait de chaux mélangé à l'eau d'alimentation. La chaux forme avec les acides gras des sels insolubles (oléate, stéarate ou margarate de chaux, suivant l'acide), que la chaleur ne décompose pas, et qui sont sans action sur le fer et sur le cuivre. — Un litre d'eau dissout en quelques secondes, environ 0g,80 de chaux chimiquement pure. En présence d'un acide gras déjà rendu libre, cette eau de chaux forme immédiatement un *savon de chaux* qui est insoluble et se précipite. En présence d'un corps gras, l'action est un peu plus lente; il se forme d'abord une matière un peu gluante, qui est un empâtage de chaux et de matières grasses, puis, peu à peu, la chaux expulse la glycérine du corps gras et se substitue à elle pour former un savon de chaux avec le corps gras, comme précédemment. — Si l'eau d'alimentation dans laquelle on introduit le lait de chaux, contenait déjà des savons de cuivre ou de fer, ces savons ne seraient pas décomposés. D'un autre côté, si l'eau additionnée d'un lait de chaux arrivait aux chaudières avant que la réaction chimique fût complète, le fer et le cuivre de la chaudière participeraient à cette réaction chimique pendant son achèvement, et il se

formerait des savons complexes plus ou moins adhérents. — Il convient donc d'une part, de n'envoyer l'eau d'alimentation aux chaudières que lorsque la réaction chimique est terminée, et d'autre part, d'étamer les tubes du condenseur du côté de la vapeur, et en général, tout le tuyautage que parcourt l'eau d'alimentation jusqu'au point où la réaction peut être regardée comme complète.

MM. Hétet et *Risbec* n'emploient pas de la chaux chimiquement pure. La chaux éteinte ordinaire suffit; mais il en faut naturellement une plus grande quantité. — En général, on dissout 1 gramme de chaux éteinte dans un litre d'eau. — L'eau de chaux s'obtient d'une manière continue en faisant agir sur la chaux ordinaire, en poudre tamisée, un courant d'eau dérivé du courant d'eau d'alimentation, après que celle-ci a subi la réaction qui neutralise les graisses et les acides gras. De cette manière, on n'introduit aucune quantité d'eau additionnelle dans la circulation générale. — L'installation mécanique imaginée par *MM. Hétet* et *Risbec* pour l'application de leur système sur le croiseur le *Dupetit-Thouars*, est représentée par la *fig.* 87, dont voici la description sommaire.

Toutes les pompes à air refoulent par le tuyau A, dans une bâche commune B_a, qui est le récipient où s'effectue la réaction. Cette bâche est surmontée du tuyau de décharge accidentelle D_e, sur lequel s'embranche le tuyau E par lequel aspirent les pompes alimentaires. Enfin la bâche B_a est munie à sa partie inférieure, d'un robinet de purge 5. — Le lait de chaux se prépare dans le récipient B. Ce récipient est desservi par deux pompes *a* et *b*, mues par la machine elle-même; elles sont à piston plongeur et de course variable, de manière à pouvoir régler à volonté leur débit. Les deux pistons ont d'ailleurs même course, mais la section du piston de *b* est les 3/2 de la section du piston de *a*. La variation de la course commune des deux pistons s'obtient en faisant varier la position de l'axe d'oscilation *o* du levier qui conduit ces deux pistons, et qui reçoit son mouvement d'un excentrique monté sur l'arbre. La pompe *a* prend de l'eau vers le sommet de la bâche B_a, par le tuyau 1, et la refoule dans le récipient B, par le tuyau 2, au sommet d'un entonnoir 6, dans lequel on verse de la chaux en poudre tamisée. L'eau entraîne la chaux et l'amène, par le tuyau 6', dans le fond du récipient B. Le niveau s'élève dans ce récipient, et le lait de chaux est pris par la pompe *b*, qui aspire par le tuyau 3, vers le sommet du récipient B, et est envoyé par cette pompe par le tuyau 4, dans l'axe du tuyau de refoulement A des pompes à air, et de là dans la bâche B_a.

Sur le tuyau d'aspiration 1 de la pompe *a*, se trouve un récipient D, avec robinet régulateur de niveau, pour empêcher le fonctionnement continu de la pompe *a*, car l'eau tend à circuler naturellement dans le tuyautage, la pression en B_a étant plus forte que celle de l'air qui agit à l'extrémité libre du tuyau de refoulement 2.

La pompe *b* débitant par coup de piston, un volume égal au 3/2 de celui que débite la pompe *a*, il en résulte que la pompe *b*, tend à faire le vide dans le sommet du récipient B. L'air est alors appelé par l'entonnoir 6 et le tuyau 6' ; cet air monte ensuite à la surface et produit des remous favorables à la prompte

Fig. 87. Appareil à dégraisser l'eau d'alimentation, système *Hétet* et *Risbec* : figure démonstrative.

dissolution de la chaux. Le chapeau conique 7', oblige l'air à monter par le tuyau 7 concentrique au tuyau de descente. L'eau refoulée par cet air s'échappe par les petites fenêtres rectangulaires qu'on aperçoit sur le tuyau 7. Enfin, l'air est aspiré par la pompe *b*, en même temps que le lait de chaux, et renvoyé dans la bâche B_a, d'où il s'échappe par le tuyau de décharge accidentelle D_e.

La quantité de chaux éteinte à verser dans l'entonnoir 6 du récipient B, doit être le quart, en poids, des matières grasses employées pour les cylindres, et on en verse tous les quarts d'heure, la quantité proportionnelle. Il est bon de graisser dans la vapeur d'une manière aussi régulière que possible. — A l'aide de petites mesures contenant 25 ou 50 ou 100 grammes de chaux éteinte, on puise la chaux à même dans une caisse, et on verse en temps voulu, la quantité nécessaire dans le récipient B. La quantité de chaux éteinte indiquée ci-dessus, un quart en poids des matières grasses, est environ double de celle qui serait théoriquement nécessaire. Mais un grand excès de chaux favorise la réaction, et ne peut être nuisible en aucun cas. Le récipient B se purge une fois par jour au moyen du robinet 8. — La capacité du récipient à réaction B_a, est telle, qu'à l'allure maximum de la machine, l'eau d'alimentation y séjourne au moins 1^{mi},3, tout en étant constamment brassée et agitée par l'air refoulé, et provenant soit directement de la pompe à air, soit du refoulement de la pompe *b*. Il en résulte que la réaction est complètement terminée quand la masse li-

quide atteint la partie supérieure, soit pour aller aux pompes alimentaires, soit pour fournir à la fabrication de l'eau de chaux. Les premiers dépôts formés et les plus épais, se ramassent dans le fond du récipient B_a, d'où on les extrait toutes les six heures par le robinet de purge 5.

Dans la formation des savons calcaires, la chaux remplace à peu près la glycérine à poids égal. Par suite, le poids total de savons calcaires formés est sensiblement égal au poids des matières grasses employées. Un sixième environ du poids de ces matières calcaires est expulsé par le robinet 5; le reste, c'est-à-dire les cinq sixièmes, va aux chaudières avec l'eau d'alimentation, et y forme des dépôts non adhérents, mais qu'il faut enlever de temps à autre. Bien que toutes les chaudières en fonction ne produisent pas le même poids de vapeur par foyer, à cause des différences de tirage, on peut calculer *grosso-modo*, quel est le poids de dépôts que renferme une chaudière après un certain nombre d'heures de fonctionnement, en divisant, pour chaque période de marche, le poids des matières grasses employées par le nombre de foyers en fonction. La quantité de dépôts que l'on peut laisser accumuler sans danger dans une chaudière, dépend principalement du volume d'eau que cette chaudière renferme. En attendant que l'expérience ait donné des indications plus précises, on peut fixer à 40^{kg} au moins par foyer du type bas, et par suite à 50^{kg} par foyer du type haut (chaudières à faces planes), la quantité de dépôts que l'on peut laisser accumuler avant de procéder au nettoyage. Pour les chaudières cylindriques à haute pression, et à deux foyers, il convient de ne pas dépasser pour chaque foyer (calculé proportionnellement à la surface de grille), 70^{kg} pour le type haut, 64^{kg} pour le type moyen, 57^{kg} pour le type bas.

Le système de dégraissage de l'eau d'alimentation dont nous venons de parler, a été essayé à bord du *Dupetit-Thouars* et a donné de très-bons résultats; ce système est aujourd'hui réglementaire sur tous les bâtiments de la flotte munis de condenseurs à surface. Mais l'appareil pour fabriquer le lait de chaux a été simplifié. La *fig.* 88 représente la dernière installation faite sur le *Rigault de Genouilly*.

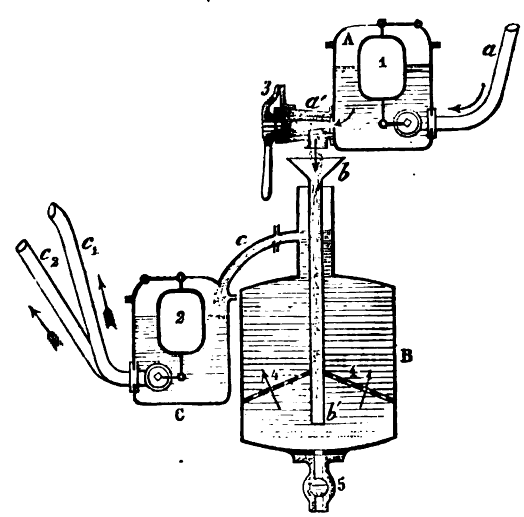
Le tuyau *a*, qui est greffé sur le refoulement de la pompe alimentaire, amène l'eau dans le récipient A qui sert de régulateur d'écoulement. Le niveau est maintenu constant dans ce récipient, au moyen du flotteur 1, qui manœuvre un robinet dans lequel débouche le tuyau *a*.

L'eau provenant du régulateur A, s'écoule par un robinet à ouverture graduée *a'*, et tombe dans un entonnoir *b* que prolonge un tuyau *b'* aboutissant au fond d'un récipient B. Le débit du robinet *a'* dépend uniquement de son ouverture; cette dernière est indiquée sur un cadran que parcourt une aiguille de la clef de manœuvre 3, et donne, d'après l'expérience, le nombre de litres par heure du débit. — On verse dans l'entonnoir *b*, tous les quarts d'heure, la quantité de chaux nécessaire. L'eau provenant du régulateur A entraîne cette chaux dans le fond du vase B, où le lait de chaux se fabrique. La crépine 4 empêche les corps étrangers de s'élever dans le liquide; le robinet 5 sert à purger le fond du vase B.

L'eau de chaux fabriquée dans le vase B en sort par le tuyau c, pour tomber dans un deuxième régulateur à niveau constant C. Le flotteur 2 manœuvre un robinet à deux orifices, que prolongent les tuyaux c_1, c_2, qui aboutissent chacun au sommet d'un condenseur.

La manœuvre de ce nouvel appareil est excessivement simple. Le poids de chaux à employer est le quart de celui des matières grasses dépensées pour les tiroirs et les cylindres, et il faut un litre d'eau par gramme de chaux. Si on dépense par exemple 1^{kg} d'huile par heure, il faudra $0^{kg},250$ de chaux. soit $62^{g},5$ à verser tous les quarts d'heure par l'entonnoir b, et il faudra ouvrir le robinet a' pour obtenir un débit de 250 litres par heure. La constance du niveau dans le régulateur A, assure le débit uniforme du robinet a'; d'autre part, le robinet à deux orifices que manœuvre le flotteur 2, laisse toujours passer toute l'eau que reçoit le régulateur C, mais il ne peut jamais être atteint par l'air, car son ouverture augmente ou diminue avec le niveau de l'eau dans ce régulateur

Fig. 88. Appareil à dégraisser l'eau d'alimentation (système simplifié). Coupe démonstrative.



CHAP. VI, § 4. — JOURNAL DE LA MACHINE ET RAPPORT SEMESTRIEL.

N° 76. — 1. Journal de la machine. — Des allures de marche sous vapeur. — Marche auxiliaire. — Allumage; feux entretenus; feux remis en activité; eau distillée. — 2. Rédaction du journal. — 3. Casernet spécial des chefs de quart. — 4. Bulletin de voyage. — 5. Nombre de feux à maintenir en activité; problèmes de navigation à la vapeur.

N° 76_1 Journal de la machine. — Trois casernets de couleurs différentes, l'un blanc, l'autre rose et le troisième chamois, sont affec-

tés à la rédaction du journal de la machine. Chacun de ces casernets est tenu par le chef de quart. Le blanc est réservé au premier quart, le rose au deuxième et le chamois au troisième quart.

Le recto de chaque page est divisé en deux parties dans le sens de la hauteur, et sert pour deux quarts ou pour un jour.

Dans le sens de la largeur, chaque page est divisée en deux parties; l'une fait souche et l'autre se détache en bulletin. A la fin de chaque quart, le bulletin et la souche sont remplis de chiffres identiques par le chef de quart de la machine, et ce dernier fait remettre le bulletin à l'officier de quart.

Le mécanicien chargé surveille la tenue du casernet, et il tient la main à ce que chaque chef de quart le lui présente en quittant son service et en lui rendant compte de l'état de la machine. Ce casernet reste en dépôt chez le mécanicien chargé.

Chaque livre contient deux cents pages, et suffit pour un semestre. Le casernet de quart est tenu au mouillage comme à la mer, et l'on ne doit jamais écrire sur le verso. Chaque page présente d'ailleurs la disposition indiquée au n° 76_2.

Des allures de marche sous vapeur; leur détermination. Consommations normales à chaque allure. — On admet que les différentes allures auxquelles le bâtiment est susceptible de marcher en *service courant*, peuvent être classées en trois catégories de *grande*, *moyenne* et *petite* vitesse; et l'on est convenu de représenter ces catégories, en fonction de la vitesse *maximum* V des essais, par les valeurs et les notations suivantes :

Grande vitesse en service courant $V_g = 0{,}90\,V$
Moyenne vitesse en service courant $V_m = 0{,}75\,V$
Petite vitesse en service courant $V_p = 0{,}60\,V$

Pour savoir à quelle allure marche le navire, les *vitesses réelles* doivent toujours être comparées aux vitesses étalons V_g, V_m, V_p dites *normales*.

Par exemple, si $V = 12$ nœuds,

d'où :

$$V_g = 12 \times 0{,}90 = 10^n{,}8$$
$$V_m = 12 \times 0{,}75 = 9^n{,}0$$
$$V_p = 12 \times 0{,}60 = 7^n{,}2$$

On rangera :

1° Dans la *grande vitesse*, toute allure supérieure à $V_m = 9$ nœuds.

2° Dans la *moyenne vitesse*, toute allure supérieure à $V_p = 7^n{,}2$.

3° Dans la *petite vitesse*, toutes les allures égales ou inférieures à $V_p = 7^n{,}2$.

Il résulte de cette classification que :

$V_p = 0{,}60\,V$ est le maximum de la petite vitesse.
$V_m = 0{,}75\,V$ est le maximum de la moyenne vitesse.
$V_g = 0{,}90\,V$ doit être, sauf le cas de nécessité absolue, le maximum de la grande vitesse en *service courant*.

On est convenu de représenter par C_g, C_m, C_p, les consommations de charbon *par heure* correspondant aux vitesses V_g, V_m, V_p; et par des considérations tirées de la pratique *, on a adopté, pour ces consommations, les valeurs ci-après en fonction de la consommation C correspondant à la vitesse maximum V :

$C_g = 0{,}75\,C$ pour l'allure V_g de grande vitesse (1°) ci-dessus.
$C_m = 0{,}45\,C$ — V_m de moyenne vitesse (2°) d°
$C_p = 0{,}25\,C$ — V_p de petite vitesse (3°) d°

Marche auxiliaire. — Indépendamment des trois catégories de *grande*, de *moyenne* et de *petite* vitesse, qui servent à classer les différentes allures de marche du bâtiment pendant sa navigation à la vapeur, on reconnaît, sous le nom de *marche auxiliaire*, une quatrième allure pour laquelle la consommation de charbon par heure doit être constante et égale à 0,15 C. Dans ce mode de fonctionnement, la propulsion est due, non à la machine, mais à l'impulsion des voiles ou à un remorqueur. La machine n'est appelée qu'à vaincre ses frottements sans produire de *force propulsive*.

La limite inférieure de la vitesse de rotation de la machine, lors de la marche auxiliaire, est celle qui occasionne des battements au palier de butée, ce qui prouve que par intervalles la machine est entraînée par le bâtiment. Si on se propose de dépenser le moins possible de charbon, il faut régler la vitesse de la machine par l'organe de détente variable, ou par la fermeture partielle de la valve, s'il n'existe pas de détente variable, en maintenant toujours une forte pression aux chaudières, à moins que ces dernières ne présentent pas de garanties suffisantes de solidité. Le degré d'introduction, ou l'ouverture de la valve, doit être diminuée petit à petit jusqu'à ce que les battements se produisent

---

* On admet, d'après les expériences, que les puissances développées dans un temps donné, toutes choses égales d'ailleurs, sont proportionnelles aux consommations de charbon et aux cubes des vitesses.

Si donc, nous désignons par :

T et T_g les puissances développées.
C et C_g les consommations de charbon.
V et V_g les vitesses réalisées.

$$\text{on a : } \frac{T}{T_g} = \frac{C}{C_g} = \frac{V^3}{V^3_g}; \text{ d'où } C_g = C \times \frac{V^3_g}{V^3}.$$

faisant $V_g = 0{,}90\,V$, il vient : $C_g = 0{,}729\,C$.

On obtient par un calcul semblable : $C_m = 0{,}422\,C$; $C_p = 0{,}216\,C$.

Les quantités allouées sous le nom de *consommations normales*, sont un peu supérieures à celles déduites de ce calcul.

au palier de butée ; cette introduction, ou l'ouverture de la valve, est ensuite augmentée pour faire cesser ces battements. On règle alors le chauffage de manière à obtenir le meilleur résultat possible du combustible employé. Dans le cas où on veut profiter de tout le charbon qui est alloué pour la marche auxiliaire (si toutefois cette quantité n'est pas atteinte avec le fonctionnement que nous venons d'indiquer), le régime de la machine est réglé par la quantité de charbon à dépenser. Dans tous les cas, le nombre des feux à conserver en activité doit être tel que les cendriers soient au moins ouverts à moitié; sans cela, le fond de la grille manque d'air et la combustion est imparfaite.

Allumage; feux entretenus; feux remis en activité; eau distillée. Consommations normales afférentes aux divers cas. — Dans un but économique, et surtout en vue de la conservation des chaudières, il a été établi de règle que les feux doivent être conservés pour des temps d'arrêts égaux ou inférieurs à trente-six heures. — Les allocations de combustible pour allumage, entretien et remise en activité des feux sont indiquées dans le tableau suivant :

	CHAUDIÈRES A FACES PLANES.		CHAUDIÈRES CYLINDRIQUES. *		
	Type haut.	Type bas.	Type haut.	Type moyen.	Type bas.
Par foyer — allumé à nouveau. .	300kg,0	240kg,0	400kg,0	365kg,0	325kg,0
Par foyer — remis en activité. . .	150kg,0	120kg,0	200kg,0	182kg,0	162kg,0
Par foyer — par heure d'entretien des feux.	6kg,0	4kg,8	8kg,0	7kg,3	6kg,5
Par tonneau d'eau distillée. 166kg,666					

* Les chiffres inscrits pour les chaudières cylindriques ont été calculés sur ceux des chaudières à faces planes, et proportionnellement à la surface de grille.

Remarque. Les chiffres réglant la vitesse du bâtiment pour les trois allures de marche sous vapeur, et les consommations *normales* correspondantes par heure, ainsi que les consommations *normales* pour marche auxiliaire, pour entretien des feux, pour remise en activité des feux et pour eau distillée, doivent être inscrits sur un tableau placé en permanence dans la machine à portée du chef de quart. Seulement, les quantités que cet agent devra porter comme consommation sur ledit tableau et sur son casernet, sont celles *réellement effectuées*. Elles devront, d'ailleurs, être réparties ainsi qu'il est dit au numéro 76_2.

N° 76_2 Rédaction du journal. — Voici le modèle d'un bulletin de quart, sur la rédaction duquel nous allons donner quelques explications :

SOUCHE.

—

Le 18

Qualité du charbon.............. ______

Espèce du charbon.............. ______

Poids de l'hectolitre de charbon.. ______

ÉCHAUFFEMENTS, ACCIDENTS, ETC.

—

VERSEMENTS, CONSOMMATIONS EXTÉRIEURES.

—

OBSERVATIONS.

—

Le chef de quart :

BULLETIN DE QUART.

—

de *à* *Le* 18 .

			Repères.	Repères.	
Durée de l'introduction en fonction de la course			1	1	
Ouverture de la valve, en dixièmes			2	2	
Nombre de tours aux vitesses	grande		3	3	
	moyenne		4	4	
	petite		5	5	
Nombre d'heures de marche aux vitesses	grande		6	6	
	moyenne		7	7	
	petite		8	8	
Nombre d'heures de marche auxiliaire			9	9	
Nombre de foyers	allumés		10	10	
	remis en activité		11	11	
Nombre d'heures d'entretien des foyers			12	12	
Nombre d'hectolitres	d'escarbilles		13	13	
	d'eau distillée		14	14	
Nombre d'heures	de travail des pompes		15	15	
	de travaux d'entretien		16	16	
Consommation en kilogrammes	Charbon		17	17	
	Huile		18	18	
	Suif		19	19	

Souche. — Colonne de gauche.

Article : *Qualité du charbon.* — Écrire suivant le cas : très bonne, bonne, médiocre ou mauvaise.

Article : *Espèce du charbon.* — En roche ou en briquettes de *telle* provenance.

Article : *Poids de l'hectolitre.* — Tout le charbon employé doit être mesuré, et il doit être tenu un compte exact du nombre d'hectolitres dépensé pour les divers services, avec l'affectation de la part qui revient à chacun d'eux. Les hectolitres doivent être numérotés et doivent porter l'indication de leur tare. Il convient que ces hectolitres soient toujours également remplis, et que le charbon soit préalablement concassé avant le mesurage, chaque fois que la chose sera possible. Pendant le quart, on pèse un nombre d'hectolitres suffisant pour obtenir une moyenne exacte. Le nombre de pesées doit être d'autant plus grand que les morceaux de charbon sont plus irréguliers, et il faut faire en sorte que les divers hectolitres soient pesés le même nombre de fois.

Il importe de se souvenir que les seaux à escarbilles délivrés aux bâtiments sont de deux capacités différentes : un hectolitre pour les grands bâtiments, et un demi-hectolitre pour les petits. Avec ces derniers seaux, le poids moyen obtenu, tare déduite, doit être multiplié par deux pour avoir la quantité à porter à l'article dont il s'agit.

Article : *Échauffements*, *accidents*, etc. — Indiquer sommairement les accidents survenus pendant le quart, tels que : échauffements, chocs, projections d'eau, ébullitions, fuites, rentrées d'air, insuffisance ou manque d'alimentation, mauvais fonctionnement des pompes, avaries.... etc. Les causes et les suites de ces accidents, ainsi que les moyens employés pour les combattre, sont énumérés en détail sur le journal spécial, tenu par le mécanicien chargé. (Quoiqu'il n'existe pas encore d'imprimés pour ce dernier journal, le mécanicien chargé, doit tenir note sur un journal qu'il dresse à sa guise, de tous les faits intéressants relatifs à la machine.)

Article : *Versements*, *consommations extérieures.* — Tout le charbon sorti de la soute pour un service quelconque, autre que celui de l'alimentation des feux de la machine, doit être exactement pesé. Ce charbon ne doit être délivré que sur un bon fourni par le service compétent, savoir : pour les cuisines et le four, par le commis aux vivres ; pour le canot à vapeur et la forge, par le mécanicien chargé ; pour les machines auxiliaires, par le mécanicien chargé ou le maître de manœuvre, suivant l'emploi de ces machines. — Dans ce dernier article doivent être comprises les consommations effectuées pour le fonctionnement des *grandes pompes spéciales de cale*, ainsi que pour le fonctionnement des petits chevaux faisant accidentellement fonction de pompes de cale. Dans le cas où les petits chevaux refoulent de l'eau sur le pont ou dans une partie quelconque du bâtiment, la consommation doit également être imputée à l'article du rapport semestriel (n° 77) intitulé *machines auxiliaires*, et doit figurer dans la colonne *versement*, *consommations extérieures* du journal. Si le petit cheval fonctionne pour l'alimentation des chaudières, sa dépense incombe à l'appareil moteur.

Lorsque les machines auxiliaires ont une chaudière spéciale, la consommation est constatée en mesurant le charbon brûlé sur les grilles de cette chau-

dière. Mais lorsque la prise de vapeur des machines auxiliaires se trouve sur les chaudières de l'appareil moteur, la consommation est déterminée au moyen du calcul ci-après, dont les éléments sont fournis par le journal descriptif, pages 17 et 18, où sont inscrits les résultats des expériences faites sur les machines dont il est question.

Pour ce qui concerne les pompes de cale ordinaires de la machine, qui, dans la plupart des cas ne se déclanchent pas, on doit les considérer comme faisant partie intégrante de l'appareil moteur.

Mais il n'en est pas de même pour les grandes pompes de cale, notamment pour celles des machines à trois cylindres, dont le piston est conduit par une tige de piston du cylindre milieu, et qu'on ne fait fonctionner que lorsque la cale est engagée. — La consommation afférente au fonctionnement de cette pompe peut s'obtenir, avec une approximation suffisante, en multipliant la dépense de la machine pendant la durée de ce fonctionnement, par le rapport entre le travail absorbé par cette pompe et le travail moteur sur les pistons. — Ce rapport peut s'obtenir de la manière suivante :

Le travail utile, en chevaux de 75^{km}, d'une pompe de cale de cette espèce, supposée à double effet, peut être calculé par la formule :

$$\frac{d^2CN \times H \times 0{,}1}{0{,}28647}.$$

Dans laquelle d représente le diamètre de la pompe en mètres.
— C — la course du piston —
— N — le nombre de coups de piston par minute.
— H — la hauteur en mètres à laquelle l'eau doit être élevée.

Le travail moteur emprunté à la machine s'obtiendra, en divisant cette expression par le coefficient de rendement K de la pompe, et par le coefficient K′ de rendement de la machine sur l'arbre.

Faisant $K = 0{,}60$ et $K' = 0{,}75$, ce travail sera exprimé par :

$$\frac{d^2CN \times H \times 0{,}1}{0{,}28647 \times 0{,}60 \times 0{,}75}.$$

Or, le travail moteur sur les pistons est donné par la formule :

$$\frac{AD^2CNP}{0{,}28647}.$$

Dans laquelle A représente le nombre des cylindres.
— D — le diamètre des cylindres en mètres.
— C — la course des pistons —
— N — le nombre de coups de piston par minute.
— P — la pression en kilog. par cent. carré.

En désignant par R le rapport entre le travail absorbé par la pompe et le

travail moteur sur les pistons, et en remarquant que, dans la machine qui nous occupe, la course du piston de la pompe est égale à celle des pistons à vapeur, on aura :

$$R = \frac{d^2 \times H \times 0,1}{AD^2 P \times 0,60 \times 0,75}.$$

Comme les variations de H sont peu importantes, et que toutes les autres quantités littérales sont constantes, à l'exception de P, on peut effectuer, une fois pour toutes, les calculs des quantités connues, et poser :

$$\frac{d^2 \times H \times 0,1}{AD^2 \times 0,60 \times 0,75} = Q.$$

De sorte que le rapport R ci-dessus se réduit à : $R = \frac{Q}{P}$.

En calculant la valeur de l'effort moyen P sur les pistons pour divers nombres de tours, on pourra se faire une petite table du rapport ci-dessus, et, en multipliant la consommation de la machine pendant le fonctionnement de la pompe par ce rapport, on aura le poids de charbon afférent au fonctionnement de cette pompe.

D'après les calculs faits par M. *Ortolan*, mécanicien en chef, la consommation des petits chevaux peut être décomptée d'après le tableau ci-dessous.

NUMÉRO de classement des petits chevaux du type réglementaire.	DIAMÈTRE du cylindre	DIAMÈTRE du piston de la pompe.	COURSE du piston.	CONSOMMATION de houille pour un tour de manivelle.	OBSERVATIONS.
1	$0^m,142$	$0^m,071$	$0^m,142$	$0^{kg},00081$	La consommation est calculée avec une pression moyenne absolue de 126^{cm} de mercure et une dépense pour l'extraction égale à 1/11e de la chaleur utilisée. Elle se rapproche sensiblement des résultats moyens de la pratique.
2	$0^m,200$	$0^m,100$	$0^m,200$	$0^{kg},00227$	
3	$0^m,256$	$0^m,128$	$0^m,256$	$0^{kg},00475$	
4	$0^m,280$	$0^m,140$	$0^m,280$	$0^{kg},00621$	
5	$0^m,310$	$0^m,155$	$0^m,310$	$0^{kg},00844$	

Il sera facile, d'après ces données, et en tenant compte du nombre de tours, de calculer la dépense pour une durée quelconque de fonctionnement.

Article : OBSERVATIONS. — *Pendant la marche.* Sur l'état des machines, des

chaudières et des fuites ; sur la manière dont le combustible se comporte sur la grille; sur les travaux effectués, serrages, desserrages; heure d'allumage de nouveaux foyers, heure de la mise en marche; temps d'arrêt; heure de remise en activité des feux, d'extinction des feux ou de la mise des feux dans la position d'entretien.—Mêmes renseignements pour les machines auxiliaires. — *Au mouillage*. Visite des diverses parties de la machine; état des pièces; réparations; travaux d'entretien, etc.....

COLONNE DE LA SOUCHE AVEC REPÈRES.

Repères 1 et 2. — Inscrire à chaque article la moyenne pendant le quart.

Exemple : On a marché 1h30m ou 90mi à 0,6 d'introduction.
— 2h ou 120mi à 0,5 —
— 0h30m ou 30mi à 0,4 —

On aura la moyenne par le calcul suivant :

90mi à 0,60	0,6 × 90 = 54
120mi à 0,50	0,5 × 120 = 60
30mi à 0,40	0,4 × 30 = 12
240mi	126

$$\text{Introduction moyenne} = \frac{126}{240} = 0{,}525.$$

On aura la moyenne relative au repère, 2 par un calcul semblable.

Repères 3, 4 et 5. — Inscrire le nombre de tours *moyen par minute* (3 décimales) à chaque allure de marche, et porter en note sur le *carnet spécial* du chef du quart, le nombre *total* de tours pour chaque allure. — Le nombre de tours à chacune des allures est facile à compter lorsque la vitesse du bâtiment étant en rapport avec le nombre de tours par minute, l'allure du bâtiment ne change qu'avec ce nombre de tours; il suffit pour cela de relever le chiffre du compteur à chaque *changement* d'allure. — Lorsque le changement d'allure du bâtiment résulte de changements survenus dans l'état de la mer, l'intensité du vent ou la direction de la route, le mécanicien n'a pas de point de départ précis s'il n'est pas prévenu de ces changements. Pour obvier à ce manque de renseignements et pour attribuer à chaque allure le nombre de tours qui lui convient, il faut relever le chiffre du compteur toutes les demi-heures, car c'est à ces moments qu'on jette le loch et qu'on constate le changement d'allure du navire.

Repères 6, 7 et 8. — Lorsque les changements d'allure ne se font pas par ordre et qu'ils proviennent de circonstances extérieures, ce sont les indications fournies par la timonerie qui servent à répartir la durée du quart en *grande moyenne* et *petite* vitesse.

Exemple : $V_g = 9^{nd}$; $V_m = 7^{nd},5$; $V_p = 6^{nd}$; et supposons qu'on ait à

régler le quart de 11h1/2 du matin à 3h1/2 du soir, et que la table du loch porte :

11h30m	vitesse	=	»
12h	—	=	7nd,4
1h	—	=	7nd,5
2h	—	=	7nd,6
3h	—	=	7nd,7
3h30m	—	=	3nd,8 (ce qui correspond à 7nd,6)

Chaque loch représente le chemin fait depuis l'heure du loch précédent jusqu'à l'heure auquel il appartient. D'après cela on aura marché :

1° A moyenne vitesse depuis 11h30m jusqu'à 1h soit.	1h30m
2° A grande vitesse depuis 1h jusqu'à 3h30m soit.	2h30m
Total	4h00m

Remarque. — Chaque chef de quart doit faire, à la fin de son quart, le relevé du nombre de milles parcourus à chaque allure, et doit inscrire ces nombres sur son *carnet spécial* (n° 76_2).

Pour le cas particulier où le bâtiment fait partie d'une escadre en évolutions, c'est le nombre de tours moyen par minute compté pour toute la durée des évolutions, qui détermine l'allure moyenne du bâtiment, sachant d'après les expériences directes faites par calme, et non d'après les essais officiels, quel est le nombre de tours qui correspond à un nœud de vitesse.

Le temps de fonctionnement intermittent de la machine pendant les manœuvres d'appareillage et de mouillage, ne doit pas être compté dans l'une des trois allures de marche du bâtiment; ce n'est qu'à partir du moment où le chemin fait par le bâtiment est inscrit sur la table de loch, que l'on est dans l'une des trois allures prévues.

Repère 9. — La machine ne fonctionne comme auxiliaire que lorsque l'ordre en est donné, et ce mode de fonctionnement ne cesse également que par ordre. Le temps à inscrire au repère 9 est celui qui s'est écoulé entre les deux ordres. L'allure de la machine doit être réglée pour que la consommation ne dépasse pas l'allocation réglementaire de 0,15 C; mais dans tous les cas, c'est la consommation *réellement effectuée* qui doit être portée en dépense. On prend note de cette consommation sur le *carnet spécial.*

Repère 10. — Il s'agit ici de foyers *allumés pendant le quart* et qui étaient précédemment éteints, et non du nombre de foyers qui fonctionnent. L'allocation spécifiée au n° 76_1, article *allumage*, est à peu près suffisante pour avoir de la pression, purger et balancer; mais elle est insuffisante pour atteindre le moment où le bâtiment est en route, principalement si on ne part pas immédiatement après avoir balancé, ou si les manœuvres d'appareillage sont un peu longues. Dans tous les cas, la *consommation réellement effectuée* doit être constatée avec soin, et c'est cette quantité qui doit être portée en dépense au repère 17. On doit également la mentionner sur le *carnet spécial.* On inscrit également sur ce carnet, la durée de l'appareillage, depuis le moment où la

machine a été purgée et balancée jusqu'au moment de la mise en route, ainsi que le nombre total de tours faits par la machine pendant ce temps.

Lorsqu'on allume de *nouveaux* foyers, la consommation *réelle* faite pour cet allumage est la quantité de charbon mise sur la grille, jusqu'au moment où la chaudière dont on vient d'allumer les feux, est mise en communication avec l'appareil moteur. Cette quantité est portée en dépense au repère 17 et sur le *carnet spécial*. Au repère 10, on porte simplement le nombre des foyers allumés.

Repère 11. — Les foyers remis en activité étaient précédemment dans la position de feux entretenus. Leur nombre s'inscrit au repère 11. — La consommation *réelle*, c'est-à-dire celle effectuée jusqu'au moment où la chaudière dont il s'agit est mise en communication avec l'appareil moteur, doit être inscrite en dépense au repère 17 et sur le *carnet spécial*.

Repère 12. — Le nombre d'heures à inscrire à ce repère s'obtient en multipliant le nombre de foyers entretenus avec le feu retiré sur l'avant de la grille, par le nombre d'heures de cet entretien.

Exemple : On a entretenu 8 foyers pendant 1h30m ou 1h,5, le nombre à inscrire est $8 \times 1,5 = 12$.

Les allocations normales sont indiquées au n° 76_1, article *feux entretenus*. Dans tous les cas, la consommation *réelle* doit être inscrite en dépense au repère 17 et sur le *carnet spécial*.

Repère 13. — Le nombre total d'hectolitres d'escarbilles correspond à la totalité du charbon mis sur la grille, quel que soit l'état d'entretien ou d'activité des feux. — Il importe de ne pas confondre les hectolitres avec les seaux à escarbilles dont le petit modèle ne contient qu'un demi-hectolitre. Si les seaux à escarbilles sont de ce dernier modèle, le nombre à inscrire au repère 13 sera la moitié de celui des seaux vidés.

Repère 14 — Le chiffre à porter à ce repère est fourni par le contre-maître de cale ; le chef de quart de la machine doit d'ailleurs vérifier l'exactitude des indications de cet agent. Ce nombre d'hectolitres sert à calculer la consommation *normale* correspondante, qui est de 16kg,666 par hectolitre d'eau distillée.

Chaque fois qu'il est possible de constater la dépense *réelle* occasionnée pour la distillation, cette consommation doit être inscrite sur le *carnet spécial*.

Si la vapeur est prise aux chaudières en fonction pour l'appareil moteur, il est impossible de constater la dépense *réelle* afférente à la distillation. Mais, si l'on allume une chaudière pour faire de l'eau douce, la dépense à inscrire sur le *carnet spécial* est celle *réellement* faite à cette chaudière pendant tout le temps de son fonctionnement pour la distillation, allumage compris. Si plus tard la chaudière est mise en activité pour le service de l'appareil moteur, la dépense pour l'allumage ou pour la remise en activité sera retranchée de la dépense totale et portée à l'article *allumage* ou *remise en activité*, suivant le cas. L'excédant reste au compte de l'eau distillée.

Repère 15. — La ligne de ce repère est destinée à recevoir l'indication du nombre d'heures pendant lequel les pompes de cale de la machine ont refoulé

l'eau de la cale à l'extérieur. Ce nombre ne peut être obtenu exactement qu'autant que les pompes se déclanchent.

La durée et le motif du fonctionnement des pompes de cale spéciales mues par la machine elle-même, sont inscrits à l'article *observations*.

Repère 16. — Ce nombre d'heures est décompté comme si un seul homme avait fait le travail.

Exemple : On a employé 12 hommes pendant 2^h15^m ou $2^h,25$; le chiffre à inscrire à ce repère est $2^h,25 \times 12 = 27$.

Les hommes employés à la forge ou à l'établi ne doivent figurer dans ce décompte, qu'autant que les travaux qu'ils exécutent se rapportent à la machine ou à ses dépendances. Les hommes gradés qui surveillent ou qui dirigent l'exécution des travaux de machine, doivent être compris dans le nombre d'hommes employés à l'entretien.

Repères 17, 18 *et* 19. — Les chiffres à porter à ces repères sont les consommations totales effectuées pour la machine, quels que soient l'allure et le degré d'activité des feux. En un mot, tout le charbon qui a passé sur les grilles pendant le quart, doit figurer au repère 17.

Le *carnet spécial* donne le moyen de défalquer de cette consommation totale, la partie qui n'incombe pas à la propulsion du bâtiment, et, en outre, de répartir la dépense afférente à la propulsion entre les trois allures de marche. Après déduction de la dépense incombant aux allumages, remise en activité, entretien des feux et eau distillée, le reste donne ce qui a été consommé d'une manière effective pour la propulsion.

Pour répartir cette dernière quantité entre les différentes allures, d'après le nombre de foyers allumés et le nombre d'heures de marche, on peut opérer ainsi qu'il suit, en supposant que les feux ont toujours eu le même degré d'activité.

Exemple : On a dépensé pour la *propulsion* 3962^{kg} et on a marché :

A *moyenne vitesse* pendant 1^h30^m ou $1^h,5$ avec 8 foyers, ce qui correspond à 1 foyer allumé pendant $1^h,5 \times 8 = 12^h$	12^h
A *grande vitesse* pendant 2^h30^m ou $2^h,5$ avec 20 foyers, ce qui correspond à 1 foyer allumé pendant $2^h,5 \times 20 = 50^h$	50^h
La consommation totale équivaut à 1 foyer allumé pendant	62^h.

Il y a eu $\frac{12}{62} = 0{,}195$ (en nombre rond 0,2) de la consommation totale afférents à la moyenne vitesse et 0,8 (en nombre rond) afférents à la grande vitesse, ce qui donne :

Consommation à moyenne vitesse $3962 \times 0{,}2 = 792^{kg},400$.
Consommation à grande vitesse $3962 \times 0{,}8 = 3169^{kg},600$.

Les résultats ainsi obtenus sont inscrits sur le *carnet spécial*.

CARNET SPÉCIA

DATES.	DÉSIGNATION du quart.	ALLUMAGE DES FEUX.			CHARBON DÉPENSÉ POUR			GRANDE VITESSE.		
		Durée de l'appareillage.	Nombre de tours.	Charbon dépensé.	Entretien des feux.	Remise en activité.	Eau distillée.	NOMBRE de milles.	NOMBRE de tours.	Charbon dépensé.

CARNET SPÉCIA

DATES.	MACHINES AUXILIAIRES.						CHARBON DÉPENSÉ POUR		
	NOMBRE D'HEURES DE FONCTIONNEMENT.			CONSOMMATIONS.			SERVICE DES VIVRES.		Forge.
	Treuils.	Ventilateur.	Petites chaudières auxiliaires.	Charbon.	Huile.	Suif.	Cuisines.	Four.	

ES CHEFS DE QUART

EUILLE

MOYENNE VITESSE.			PETITE VITESSE.			MARCHE AUXILIAIRE.			CONSOMMATIONS	
NOMBRE		Charbon dépensé.	NOMBRE		Charbon depensé.	NOMBRE		Charbon dépensé.	huile.	suif.
de milles.	de tours.		de milles.	de tours.		de milles.	de tours.			

ES CHEFS DE QUART

UILLE

TRAVAUX EXTRAORDINAIRES.			TRAVAUX D'ENTRETIEN.			VERSEMENTS EXTÉRIEURS.			OBSERVATIONS.
Charbon.	Huile.	Suif.	Charbon.	Huile.	Suif.	Charbon.	Huile.	Suif.	

N° 76_3 Carnet spécial des chefs de quart. — Les chefs de quart de la machine, devant fournir au maître mécanicien les éléments nécessaires à la rédaction des bulletins de voyage (n° 76_4) et des rapports semestriels (n° 77), ne doivent pas attendre au dernier moment pour récapituler sur leur journal les consommations faites *réellement* pendant les différentes traversées, tant pendant la marche de la machine principale aux différentes allures, que pour les machines auxiliaires, la distillation, les allumages, la remise en activité des feux, etc.

Leur travail sera considérablement simplifié et présentera beaucoup plus d'exactitude, s'ils ont la précaution d'établir, et de tenir à jour quart par quart, un carnet conforme au modèle ci-avant et que nous avons appelé *carnet spécial des chefs de quart.*

En agissant ainsi, il leur suffira de très-peu de temps pour être à même de fournir, à un moment quelconque, tous les renseignements dont on peut avoir besoin au sujet des consommations de charbon et de matières grasses.

Les explications données dans le n° 76_2 sont suffisantes pour comprendre la manière de tenir le carnet ci-dessus. A l'article *machines auxiliaires* de la deuxième feuille, il conviendra de former autant de colonnes qu'il y a de machines auxiliaires distinctes.

Sur les grands cuirassés, par exemple, et sur la plupart des gardes-côtes, il y a habituellement une machine spéciale pour manœuvrer le gouvernail, une machine pour la manœuvre des tours, une ou plusieurs machines faisant mouvoir des ventilateurs, etc. — Il sera nécessaire de mentionner succinctement, dans la colonne des *observations,* la cause du fonctionnement de chacune d'elles.

La part afférente au fonctionnement de chacune de ces machines se calculera très-facilement, en agissant ainsi que nous l'avons indiqué précédemment pour la pompe de cale spéciale.

N° 76_4 Bulletin de voyage. — A la fin de chaque traversée, les commandants des bâtiments à vapeur doivent adresser au Major de la Flotte du port duquel dépend le bâtiment, un bulletin de voyage conforme au modèle ci-contre, sur lequel sont mentionnés les éléments qui doivent servir à faciliter la rédaction du rapport semestriel et à contrôler, au besoin, ce dernier rapport. Le bulletin de voyage est rédigé en double expédition ; l'une de ces pièces est adressée au Major de la Flotte et l'autre est conservée à bord. Ces bulletins portent en tête et à gauche les quantités V_g, V_m et V_p, ainsi que les consommations normales C_g, C_m, C_p, correspondantes à ces vitesses. Il convient d'ajouter à l'encre rouge les consommations *normales* c_g, c_m, c_p, par mille parcouru (n° 77_1). Ces notations ne figurent pas sur l'imprimé de Bulletin de voyage modèle 1875, mais c'est une omission. De plus, la répartition de la dépense de combustible aux trois allures est faite sur cette pièce, et il suffit par suite de copier en quelque sorte les différents bulletins de voyage, pour établir le rapport semestriel (n° 77).

Le carnet spécial des chefs de quart, dont il est parlé au n° 76_3, fournit tous les éléments nécessaires à la rédaction de ce bulletin de voyage.

Circulaire du 20 mai 1875.

MARINE ET COLONIES.

DONNÉES EXTRAITES DU DEVIS

$V_g =$ $C_g =$
$V_m =$ $C_m =$
$V_p =$ $C_p =$

L   *l*

Commandé par M.

TRAVERSÉE d   à   , du   au   .   187 .

BULLETIN DE VOYAGE.

EXISTANT A BORD.						NOMBRE DE MILLES			CONSOMMATION DE CHARBON DANS LA MARCHE AUX TROIS ALLURES (1).			
CHARBON.		HUILE.		SUIF.		SOUS VOILES.	SOUS VAPEUR, avec ou sans voiles.	TOTAL.	ALLURES.	NOMBRE de milles.	CHARBON dépensé.	DÉPENSE par mille.
Au départ.	A l'arrivée.	Au départ.	A l'arrivée.	Au départ.	A l'arrivée.							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
									Grande vitesse.......			
									Moyenne vitesse......			
									Petite vitesse..... ..			

Observations indiquant le degré d'urgence de la mission, la nature du charbon, les circonstances de la navigation qui ont pu modifier le rendement de la machine ou augmenter la dépense de combustible.

Observations du Chef d'état-major
ou
du Major de la Flotte,

Vu : *Le Commandant en chef,*
ou
Le Préfet maritime,

Au mouillage d

Le Capitaine du bâtiment,

(1) Ces consommations ne doivent pas comprendre le charbon dépensé soit pour les allumages, les stoppages ou la marche auxiliaire.

Les quantités à porter aux *repères* de 1 à 6 inclusivement ne nécessitent aucune explication.

Repère 7. — Porter le nombre de milles parcourus en l'absence de tout fonctionnement de la machine.

Repère 8. — Porter le nombre total de milles parcourus aux trois allures en y comprenant la marche auxiliaire.

Repère 9. — Porter la somme des chiffres inscrits dans les colonnes 7 et 8.

Repère 10. — Ajouter à l'encre rouge, au-dessous de *petite vitesse*, l'indication de *marche auxiliaire*, si l'on a fonctionné dans ces conditions pendant la traversée.

Repères 11 et 12. — En faisant la répartition de son quart suivant les trois allures de marche ou la marche auxiliaire, chaque chef de quart inscrit sur son *carnet spécial*, et à l'article correspondant, le nombre de milles parcourus et la dépense *réelle* afférente à chaque allure. A la fin de la traversée on totalise les nombres inscrits dans les colonnes du *carnet spécial*, et on ajoute les résultats des trois quarts.

En conséquence on portera dans la colonne 11, et en regard des vitesses correspondantes, le nombre de milles parcourus à chacune de ces allures, et dans la colonne 12 le charbon dépensé *réellement* pour le nombre de milles correspondant.

Repère 13. — Inscrire, pour chaque allure de marche, le quotient de la division du nombre inscrit dans la colonne 12 par celui de la colonne 11.

Remarque. — Si les rapports entre les quantités ainsi obtenues et les valeurs de c_g, c_m, c_p, que l'on a inscrites à l'encre rouge en tête du bulletin, excèdent 1,19, il conviendra de mentionner, dans la colonne *observations*, les causes qui ont pu occasionner cette dépense exagérée.

Dans la rédaction des rapports semestriels, il est essentiel que les commandants s'attachent à faire ressortir toutes les circonstances qui ont pu influer sur le rendement économique. En conséquence, dans la colonne *observations* du bulletin de voyage, il est urgent de mentionner toutes les causes qui ont pu influer sur ce rendement, notamment : l'état de propreté de la carène; l'état de la mer pendant la traversée; la direction du vent favorable ou défavorable à la route suivie; l'urgence plus ou moins grande de la mission, etc., etc.

N° 76_1 Nombres de feux à maintenir en activité. Problèmes de navigation à la vapeur. — D'après les instructions insérées au registre descriptif, l'allure à grande vitesse, et généralement l'allure à moyenne vitesse, doivent être maintenues avec tous les feux allumés. Mais on ne doit pas perdre de vue que le nombre de kilogrammes de vapeur que peut produire un kilogramme de charbon d'une espèce donnée, varie avec le poids de charbon brûlé par heure et par mètre carré de surface de grille; il existe donc un maximum de production de vapeur par kilogramme de charbon qu'il faut toujours chercher à atteindre. Dans les essais faits à terre avec un tirage naturel, les cendriers ouverts en grand, on a trouvé que ce maximum de production correspondait à une dépense de 90 kilogrammes de bonne houille par mètre carré de surface de grille et par heure. Ce chiffre est bien moins élevé

sur un bâtiment et paraît osciller entre 60 et 75 kilogrammes suivant la nature du charbon; mais il peut descendre beaucoup plus bas quand le tirage est faible. Ces indications peuvent servir à régler *à priori* le nombre de feux à mettre en fonction pour une allure déterminée, quitte à trouver expérimentalement, pour chaque qualité de charbon, l'épaisseur de la couche qui correspond au maximum de rendement.

On arrive à cette épaisseur par voie de diminution, tant que la pression s'élève ou tend à s'élever, si on augmente en même temps l'allure de la machine, sans qu'on soit obligé de tourmenter les feux.

Comme chaque chaudière comporte plusieurs foyers qu'il ne faut pas faire fonctionner isolément, on sera souvent conduit, pour les allures de moyenne et de petite vitesse, à mettre en fonction un nombre de foyers qui serait trop grand pour l'allure adoptée, si les cendriers étaient maintenus ouverts en grand. Il faudra alors réduire l'ouverture des cendriers pour chercher l'épaisseur de la couche de charbon qui correspond au maximum de production de vapeur, par kilogramme de charbon brûlé par mètre carré de surface de grille. Il y a là une source d'économie qu'il importe de ne pas négliger.

Il faut remarquer, d'ailleurs, que ce maximum de production ne peut être obtenu que sur un bâtiment en route libre, et sans qu'on soit astreint à maintenir rigoureusement un nombre de tours déterminé; il faut, au contraire, que la vitesse de la machine puisse suivre les fluctuations de la pression aux chaudières, afin que les feux soient toujours conduits avec régularité. L'allure à un nombre de tours déterminé n'est jamais économique, parce qu'il faut pouvoir parer aux variations de pression par un travail supplémentaire de chauffe, ce qui est toujours une cause de dépense et qui nécessite d'ailleurs une couche de charbon trop forte.

Nous allons actuellement nous proposer de résoudre quelques petits problèmes d'un fréquent usage dans le cours de la navigation, et qui sont relatifs à la manière de régler la consommation de charbon à bord.

Dans ces problèmes nous admettrons, ainsi qu'on l'a constaté d'après les résultats de l'expérience, que, pour un navire donné, les consommations de charbon par heure sont directement proportionnelles aux puissances développées et par suite aux travaux résistants du bâtiment.

1er Problème. *Un navire file V milles à l'heure avec N foyers en activité. Combien filera-t-il avec N' foyers, les feux étant conduits de la même manière dans les deux cas?* — Soient :

C la consommation par heure à la vitesse V avec N feux allumés
C' — — V' — N' —

Nous aurons d'après la proportionnalité admise plus haut :

$$(1) \qquad \frac{C}{C'} = \frac{KB^2V^3}{KB^2V'^3} = \frac{V^3}{V'^3}.$$

En d'autres termes : *les consommations de charbon dans un temps donné sont proportionnelles aux cubes des vitesses.*

Si les feux sont conduits de la même manière dans les deux cas, il est évident que les consommations de charbon sont proportionnelles aux nombres de feux en activité. Par suite, on aura :

$$\frac{C}{C'}=\frac{N}{N'}. \quad (2)$$

Des proportions (1) et (2) on tire :

$$\frac{N}{N'}=\frac{V^3}{V'^3}. \quad (3)$$

C'est-à-dire que *les nombres de feux à maintenir en activité sont proportionnels aux cubes des vitesses à obtenir.* — De cette dernière proportion, on tire :

$$V'=V\sqrt[3]{\frac{N'}{N}}.$$

Exemple : $V=12^{nd}$ $N=24$ et $N'=16$;

on a : $$V'=12\sqrt[3]{\frac{16}{24}}=10^{nd},5.$$

2° Problème. *Un navire possède en approvisionnement Q^{x} de charbon qui à la vitesse V lui permettent de parcourir M milles. On demande la vitesse V' que ce navire devra tenir, pour qu'avec le même approvisionnement il puisse parcourir M' milles.*

Pour parcourir M milles à la vitesse V, la durée de la traversée sera $\frac{M}{V}$;

et la consommation de charbon par heure sera $C=\frac{QV}{M}$ (en supposant toutefois que les Q^{x} représentent la dépense totale de la traversée).

Pour parcourir M' milles à la vitesse V' avec la même dépense de combustible, la dépense par heure sera $C'=\frac{QV'}{M'}$.

De la relation (1) obtenue dans le problème précédent, on tire :

$$\frac{C}{C'}=\frac{V^3}{V'^3}; \quad \text{d'où} \quad \frac{M'}{M}=\frac{V^2}{V'^2}.$$

En d'autres termes, *les nombres de milles qu'un bâtiment peut parcourir avec un approvisionnement donné de combustible, sont inversement proportionnels aux carrés des vitesses.*

Exemple : M = 3.000 milles, V = 12 nœuds, M' = 4.500 milles.

On a : $$V'=V\sqrt{\frac{M}{M'}}=12\sqrt{\frac{3.000}{4.500}}=12\times 0,816=9^{nd},8.$$

Ainsi le navire pourrait, avec un même approvisionnement, parcourir 3.000 milles à la vitesse de 12 nœuds, ou 4.500 milles à la vitesse de $9^{nd},8$.

3° PROBLÈME. *Un navire dépense Q^{tx} de charbon pour parcourir M milles à la vitesse V. Quelle serait sa dépense Q' de combustible pour franchir la même distance à la vitesse V'?*

A la vitesse V, la durée du parcours sera $\frac{M}{V}$ heures, et la dépense à l'heure $C = \frac{QV}{M}$.

A la vitesse V', la durée du parcours sera $\frac{M}{V'}$ heures, et la dépense à l'heure $C' = \frac{Q'V'}{M}$.

Or, en vertu de la relation (1) du premier problème nous aurons :

$$\frac{C}{C'} = \frac{V^3}{V'^3}; \quad \text{d'où} \quad \frac{Q}{Q'} = \frac{V^2}{V'^2}.$$

C'est-à-dire que, *pour un même trajet, les dépenses de combustible sont directement proportionnelles aux carrés des vitesses.*

Exemple : Q = 300 tonneaux, V = 12 nœuds, V' = 10 nœuds.

On a : $$Q' = Q \times \frac{V'^2}{V^2}; \text{ ou } Q' = 300 \times \frac{10^2}{12^2} = 208^{tx}.$$

Ce dernier problème fait ressortir l'économie notable de combustible que l'on peut réaliser dans une traversée en modérant l'allure de la machine.

On se rend parfaitement compte ainsi de la différence notable du coût du transport des marchandises, suivant qu'elles sont expédiées par les paquebots à grande ou à moyenne vitesse.

N° 77. — 1. Rapport semestriel, son but; modèle. — Coefficient de rendement économique. — Consommations normales par mille parcouru à chacune des trois allures de marche de le machine sous vapeur. — 2. Explications relatives au tableau du recto. — 3. Explications relatives au tableau du verso. — 4. Coefficients de rendement. Coefficient de rendement de la machine seule. — 5. Résumé des consommations de houille. — Notice sur les charbons employés. — Compte rendu des circonstances qui ont pu modifier d'une manière sensible le rendement de l'appareil moteur.

N° 77_1 Rapport semestriel, son but ; modèle. — Le rapport semestriel a pour but de faire connaître la manière dont le charbon est *utilisé* à bord des bâtiments de la flotte. Ce rapport doit être

RAPP

L

Consommation de combustible par mille parcouru. { Grande vitesse... c_g
Moyenne vitesse.. c_m
Petite vitesse.... c_p

Surface totale de grille en mètres carrés......... S

MACHINE DE C

CONSOMMAT

DATES et lieux de départ et d'arrivée.	NOMBRE D'HEURES		RAPPORT	NOMBRE DE MILLES		RAPPORT	GRANDE VITESSE.		MOYENNE VITESSE.		PETITE VITES	
	sous voiles feux éteints ou entretenus. a	sous vapeur ave ou san voiles. a	$\frac{a}{a'}$	sous voiles. b	sous vapeur. b'	$\frac{b}{b'}$	Nombre de milles.	Consommation en kilogramm^{es}.	Nombre de milles.	Consommation en kilogramm^{es}.	Nombre de milles.	Cons mati en ki gram
1	2	3		5	6	7	8	9	10	11	12	13
Totaux....	A	A'	$\frac{A}{A'}$	B	B'	$\frac{B}{B'}$						

Somme des consommations réelles de houille aux trois allures H (en kilogrammes).......

Somme des consommations normales pour le nombre de milles parcourus aux trois allur H

Coefficient de rendement économique $\frac{H}{H'}$ ....

Rapport des consommations de corps gras aux consommations de houille faites aux trois all

Rapport du nombre d'hectolitres d'escarbilles au nombre total d'hectolitres de houille con

(A) La valeur de H' s'obtiendra en faisant la somme des produits c_g, c_m, c_p (voir la page 21 de la partie descript

IESTRIEL.

• SEMESTRE.

CIRCULAIRE DU 1er MAI 1870. (B. O. p. 384.)

—

(1) Station ou mission; indication des parages.

UX, FOYERS TYPE

CIPALES.

MACHINE agissant mme auxiliaire.		CONSOMMATIONS, en kilogrammes			DISTILLATION. — Consommation en kilogrammes.	CONSOMMATIONS des corps gras.		NOMBRE d'hectolitres d'escarbilles. *E*	NOMBRE d'heures de travail des pompes.	OBSERVATIONS.
ombre heures.	Consommation en kilogrammes.	pour allumages.	pour remise en activité des feux.	pour entretien des feux.		Kilogrammes. — Huile. *h*	Kilogrammes. — Suif. *s*			
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

....,..................................

....

.................................,...................... ... .

....

ns la machine, chaque tonneau de houille étant compté pour 12 hectol....

ır les nombres de milles parcourus correspondants.

RAPPO

L

Consommation de combustible par mille parcouru. { Grande vitesse... c_g
Moyenne vitesse.. c_m
Petite vitesse.... c_p }

Surface totale de grille en mètres carrés......... S

MACHINE DE

CH

CONSOMMATI

DATES et lieux de départ et d'arrivée.	NOMBRE D'HEURES sous voiles feux éteints ou entretenus. *a*	sous vapeur avec ou sans voiles. *a'*	RAPPORT $\frac{a}{a'}$	NOMBRE DE MILLES sous voiles. *b*	sous vapeur. *b'*	RAPPORT $\frac{b}{b'}$	GRANDE VITESSE. Nombre de milles.	Consommation en kilogramm^es^.	MOYENNE VITESSE. Nombre de milles.	Consommation en kilogramm^es^.	PETITE VITESSE. Nombre de milles.	Consom...
1	2	3		5	6	7	8	9	10	11	12	13
Totaux....	A	A'	$\frac{A}{A'}$	B	B'	$\frac{B}{B'}$						

Somme des consommations réelles de houille aux trois allures H (en kilogrammes)........

Somme des consommations normales pour le nombre de milles parcourus aux trois allures H'

Coefficient de rendement économique $\frac{H}{H'}$ ....

Rapport des consommations de corps gras aux consommations de houille faites aux trois al

Rapport du nombre d'hectolitres d'escarbilles au nombre total d'hectolitres de houille con

(A) La valeur de H' s'obtiendra en faisant la somme des produits c_g, c_m, c_p (voir la page 21 de la partie descri

IESTRIEL.

• SEMESTRE.

CIRCULAIRE DU 1er MAI 1870. (B. O. p. 384.)

(1) Station ou mission; indication des parages.

UX, FOYERS TYPE

ICIPALES.

MACHINE agissant comme auxiliaire.		CONSOMMATIONS, en kilogrammes			DISTILLATION.	CONSOMMATIONS des corps gras.		NOMBRE d'hectolitres d'escarbilles. E	NOMBRE d'heures de travail des pompes.	OBSERVATIONS.
Nombre d'heures.	Consommation en kilogrammes.	pour allumages.	pour remise en activité des feux.	pour entretien des feux.	Consommation en kilogrammes.	Kilogrammes. Huile. h	Kilogrammes. Suif. s			
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24

....,...............................

....

....

....

s la machine, chaque tonneau de houille étant compté pour 12 hectol....

r les nombres de milles parcourus correspondants.

ANNÉE 187 .

RAPPOR

CONSOMMATIONS SUPPLÉMENTAIRES.

	CANOTS A VAPEUR et machines auxiliaires.			CUISINES ET FOURS.		RAPPORT	FORGES.	NETTOYAGE	
	NOMBRE D'HEURES de marche.		HOUILLE, consommation en kilogrammes.	Nombre de rations de vivres délivrées. C	Houille, consommation en kilogrammes. C'	$\frac{C'}{C}$	Houille, consommation en kilogrammes.	Nombre d'heures aux grands gorets. f	Nombre d'heures aux petits gorets. f'
	Canots.	Machines auxiliaires.							
	1	2		4	5	6	7	8	9
Totaux......									

RÉSUMÉ DES CONSOMMATIONS DE HOUILLE EN KILOGRAMMES.

Quantités relevées sur les journaux.		
	En marche aux trois allures..........................	
	La machine agissant comme auxiliaire..................	
	Allumage, mise en activité, entretien des feux........	
	Distillation..	
	Canots à vapeur et machines auxiliaires...............	
	Cuisines et fours, service des vivres.................	
	Forges, travaux extraordinaires.......................	
	Total conforme aux écritures..........................	

Bord, le

Les membres du Conseil d'avancement,

SEMESTRIEL

L)

• SEMESTRE
187 .

(1) Nom du bâtiment.

DONNÉES SUPPLÉMENTAIRES.

DE LA CARÈNE.			ENTRETIEN DE LA MACHINE.			COEFFICIENTS de recul moyens, déduits d'expériences directes en calme, aux vitesses			OBSERVATIONS.
Nombre d'heures au scaphandre f''	Surface mouillée. S	Rapport $\frac{S}{f+f'+f''}$	Nombre d'heures de travail. G	Puissance en chevaux nominaux. F	Rapport $\frac{G}{F}$	grande.	moyenne.	petite.	
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

NOTICE SUR LES CHARBONS EMPLOYÉS PENDANT LE SEMESTRE
(FOURNIE PAR LE MAITRE MÉCANICIEN).

Transcription sommaire des ordres reçus par le Capitaine; Compte rendu abrégé des circonstances particulières qui ont pu modifier d'une manière notable le rendement de la machine.

Le Capitaine,

arrêté au 30 juin et au 31 décembre inclus de chaque année, et adressé au port auquel compte le bâtiment, puis transmis au ministère aussitôt après que le Major de la Flotte et la Direction des constructions navales y ont consigné leurs observations.

En ce qui concerne la consommation de combustible afférente à la propulsion, on a pris pour base d'appréciation la valeur du *coefficient de rendement économique* $\frac{H}{H'}$. Ce coefficient exprime le rapport qui existe entre les consommations *réellement effectuées* pour le nombre de milles parcourus par le bâtiment aux différentes allures, et les consommations *normales* correspondantes, calculées d'après les résultats des expériences officielles de la machine; ou d'après les prévisions du constructeur, si les essais officiels n'ont pas eu lieu.

On admet comme maximum d'utilisation, la consommation c de charbon par mille parcouru, déduite du rapport $\frac{C}{V} = c$.

C représente la consommation de charbon par heure, pendant les essais, lors de la marche à toute puissance;
V représente le nombre de milles parcourus à cette allure dans les mêmes essais.
Les valeurs de C et de V sont portées au registre descriptif, page 15.

Les consommations de charbon par mille parcouru aux vitesses *normales* V_g, V_m, V_p (n° 76_1), étant représentées par c_g, c_m, c_p, ont les valeurs suivantes, que l'on nomme *coefficients de consommation normale*.

$$c_g = \frac{C_g}{V_g} = \frac{0{,}75\,C}{0{,}90\,V} = 0{,}833\,\frac{C}{V} = 0{,}833\,c;$$

$$c_m = \frac{C_m}{V_m} = \frac{0{,}45\,C}{0{,}75\,V} = 0{,}600\,\frac{C}{V} = 0{,}600\,c;$$

$$c_p = \frac{C_p}{V_p} = \frac{0{,}25\,C}{0{,}60\,V} = 0{,}416\,\frac{C}{V} = 0{,}416\,c.$$

Comme moyen de vérification on a .

$$c_m = 0{,}72\,c_g \quad \text{et} \quad c_p = 0{,}50\,c_g.$$

En multipliant le nombre de milles parcourus à chacune des trois allures de marche à la vapeur par le coefficient de consommation *normale* correspondant, et en faisant la somme des produits, on obtient le dénominateur H' du *coefficient de rendement économique*. Le numérateur H de ce rapport a pour valeur la somme des consommations *réelles* pour les trois allures.

Le rapport semestriel donne aussi le moyen d'apprécier l'état d'entretien de la machine et du bâtiment. Il est rédigé sur une double feuille imprimée recto et verso du modèle ci-avant.

77₂ Explications relatives au tableau du recto. — En tête : — *A gauche*, millésime de l'année. — *A droite*, numéro du semestre. — Espèce du bâtiment, nom du bâtiment, mission qu'il remplit.—Puissance de la machine en chevaux nominaux; nombre de foyers du type haut ou bas, avec ou sans sécheur ; ou bien, désignation du système particulier.

En dessous du millésime de l'année, écrire à l'encre rouge :

1° Les valeurs de V_g, V_m, V_p ; c_g, c_m, c_p, et indiquer si ces valeurs sont le résultat des essais ou du calcul (registre descriptif, page 21). Il conviendrait même d'ajouter les valeurs de V et de *c*.

2° La surface de grille en mètres carrés (registre descriptif, page 19).

Tableau. — Chaque ligne horizontale doit contenir le résumé d'une traversée Il faut ajouter à ce tableau, dans la marge à gauche, une colonne donnant répartition du nombre d'heures de marche sous vapeur aux trois allures. *Ex.* .

Répartition du nombre d'heures de la colonne 3 entre les trois allures.	Dates des lieux de départ et d'arrivée.	Nombre d'heures sous voiles, feux éteints ou entretenus.	Nombre d'heures sous vapeur, avec ou sans voiles.
0	1	2	3
g = 8h30m m = 7h15m p = 11h10m	De Lorient le 4 août, 7h matin. A Cherbourg le 5 août, 9h55m matin.	»	26h55m

Colonne 0. — *Ligne g.* — Somme des nombres inscrits au repère 6, relevés sur les trois casernets de la machine.

Ligne m. — Somme des nombres inscrits au repère 7, relevés sur les trois casernets de la machine.

Ligne p. — Somme des nombres inscrits au repère 8, relevés sur les trois casernets de la machine.

Ces diverses sommes sont faites à la fin de chaque traversée, et transcrites sur le journal spécial du mécanicien chargé.

Colonne 1. — Faire deux lignes pour l'accolade. — *Première ligne :* lieu, jour et heure de départ. — *Deuxième ligne :* lieu, jour et heure d'arrivée.

Remarque. — L'heure du départ correspond au moment à partir duquel on a commencé à tenir compte du chemin fait par le bâtiment; l'heure de l'arrivée correspond au moment où on a cessé de tenir compte de ce chemin.

Colonne 2. — La machine ne fonctionne pas ; ce nombre d'heures se décompte du stop à la remise en marche.

Colonne 3. — Somme des nombres des trois lignes de la colonne 0.

Colonne 4. — Rapport $\frac{a}{a'}$ en décimales, $= \frac{\textit{nombre de la colonne } 2}{\textit{nombre de la colonne } 3}$; chercher ce rapport à un centième près.

Colonne 5. — En milles, le chemin total fait par le bâtiment pendant le nombre d'heures de la colonne 2.

Colonne 6. — En milles, le chemin total fait par le bâtiment pendant le nombre d'heures de la colonne 3. Ce nombre de milles égale la somme des chiffres inscrits aux colonnes 8, 10 et 12.

Colonne 7. — Rapport $\frac{b}{b'}$ en décimales, $= \frac{\textit{nombre de la colonne } 5}{\textit{nombre de la colonne } 6}$; chercher ce rapport à un centième près.

Colonnes 8, 10 *et* 12 ; 9, 11 *et* 13. — Chaque chef de quart, en faisant la répartition de son quart suivant les trois allures de marche à la vapeur, inscrit sur le *carnet spécial*, et à l'article de chaque allure, le nombre de milles parcourus et la consommation correspondante. A la fin de la traversée, il fait la somme des nombres inscrits dans les colonnes du *carnet spécial*, et on ajoute les résultats des trois quarts. Ce résumé a d'ailleurs été déjà fait, lorsqu'il a fallu dresser le bulletin de voyage. Il suffira, en conséquence, de prendre directement ces quantités sur l'exemplaire des bulletins de voyage conservé à bord.

On portera donc :

A la colonne 8 la somme des milles parcourus à grande vitesse.
— 10 — à moyenne vitesse.
— 12 — à petite vitesse.
A la colonne 9 tout le charbon dépensé à grande vitesse.
— 11 — à moyenne vitesse.
— 13 — à petite vitesse.

Remarque. En divisant respectivement les chiffres des colonnes 8, 10 et 12 par les nombres inscrits en regard de *g*, *m*, *p* de la colonne 0, et en comparant ces quotients aux valeurs de V_g, V_m, et V_p, on vérifie si les allures de marche à la vapeur ont été bien réparties.

Colonne 14. — Somme pour les trois quarts et pour la traversée, des nombres inscrits au repère 9 des journaux.

Remarque. La somme des nombres inscrits aux colonnes 2, 3 et 14 donne la durée totale de la traversée.

Colonne 15. — Consommation faite pendant le temps de marche auxiliaire, comptée à raison de 0,15 de la consommation C par heure à la vitesse V, quelle qu'ait été d'ailleurs la consommation *réelle*. Cette dernière quantité, dont il a été pris note sur le *carnet spécial* (76_3), est portée au verso du rapport semestriel, dans la partie intitulée : *Résumé des consommations de houille en kilogrammes* et en regard de la ligne *la machine agissant comme auxiliaire.*

Remarque. Si la dépense *réelle* dépasse notablement la quantité *prévue*, c'est-à-dire les 0,15 de C, il faut mentionner succinctement, dans la colonne 24 des observations, le motif de ce surcroît de dépense. Il n'y a lieu de faire des observations que dans le cas où le rapport entre la consommation *réelle* et la consommation *prévue* atteindrait 1,2. Les causes les plus habituelles de ce surcroît de dépense sont : charbon menu ou de mauvaise qualité, fuites considérables d'eau ou de vapeur, rapidité de la rotation, etc.

Colonnes 16, 17, 18 *et* 19. — Porter à chaque colonne la consommation pour les trois quarts, et pour toute la traversée pour l'article désigné, et comptée ainsi qu'il est dit ci-dessous, quelle qu'ait été la consommation *réelle*.

1° *Pour la colonne* 16 : à raison de 300^{kg} par foyer du type haut et 240^{kg} par foyer du type bas pour les chaudières à faces planes ; et à raison de 400^{kg} par foyer du type haut, 365^{kg} par foyer du type moyen et 325^{kg} par foyer du type bas pour les chaudières cylindriques.

En conséquence, il suffira, pour obtenir les nombres à inscrire dans cette colonne, de multiplier le nombre de foyers allumés pour la traversée (somme des nombres inscrits au repère 10 des casernets) par l'un ou l'autre de ces nombres, suivant le type des chaudières.

2° *Pour la colonne* 17 : à raison de 150^{kg} par foyer du type haut et 120^{kg} par foyer du type bas pour les chaudières à faces planes, et à raison de 200^{kg} par foyer du type haut, 182^{kg} par foyer du type moyen et 162^{kg} par foyer du type bas pour les chaudières cylindriques.

Pour obtenir le nombre à inscrire dans cette colonne, il suffira de multiplier le nombre de foyers remis en activité pour la traversée (somme des nombres inscrits au repère 11 des casernets) par l'un ou l'autre de ces nombres, suivant le type des chaudières.

3° *Pour la colonne* 18 : à raison de 6^{kg} par heure et par foyer du type haut et 4^{kg},800 par foyer du type bas pour les chaudières à faces planes ; et à raison de 8^{kg} par foyer du type haut, 7^{kg},3 par foyer du type moyen et 6^{kg},5 par foyer du type bas pour les chaudières cylindriques.

Le nombre à inscrire dans cette colonne s'obtiendra en multipliant la somme des nombres inscrits au repère 12 des casernets, par l'un des nombres ci-dessus suivant le type des chaudières.

4° *Pour la colonne* 19 : à raison de 16^{kg},666 par hectolitre d'eau distillée produite pendant la traversée.

Remarque. Les consommations *réelles* pour l'allumage, la mise en activité et l'entretien des feux, dont il est tenu compte sur le *carnet spécial* (n° 76_3), sont totalisées, et cette somme est inscrite au verso du rapport semestriel à l'article *résumé des consommations de houille.* Au même article, on écrit la consommation *réelle* afférente à la distillation. Il n'est guère possible de connaître exactement cette dernière quantité, si la vapeur est prise aux chaudières qui alimentent la machine en fonction. Ce n'est que dans le cas où une chaudière est spécialement affectée à la distillation, que l'on obtient la dépense *réelle* à lui imputer. Dans ce dernier cas, le charbon dépensé même pour l'allumage de cette chaudière est porté au compte de la distillation. Pourtant, si plus tard cette chaudière est mise en communication avec la machine, l'allumage sera porté au compte de la propulsion.

Colonnes 20 *et* 21. — Consommations *réelles* d'huile et de suif pour toute la traversée et pour les trois allures de marche à la vapeur.

Remarque. Les consommations d'huile et de suif faites pendant la marche auxiliaire, ne doivent pas figurer dans ces colonnes.

Colonne 22. — Somme pour les trois quarts et pour toute la traversée, des nombres inscrits au repère 13 des casernets.

Colonne 23. — Somme pour les trois quarts et pour toute la traversée, des nombres inscrits au repère 15 des casernets. Si les pompes ne se déclanchent pas, porter cette indication dans la colonne 24 des observations.

Colonne 24 (observations). — Former en tête de cette colonne le petit tableau suivant :

	CONSOMMATIONS RÉELLES DE COMBUSTIBLE POUR				
	MARCHE auxiliaire.	FOYERS allumés.	FOYERS remis en activité.	FOYERS entretenus.	EAU distillée.
	....kg,...	....kg,...	....kg,...	.. .kg....	... kg,...
Rapport $\frac{CR}{CN}$					
Marche auxiliaire. . . . . Huile : ...kg,... Suif : ...kg,...					

Dans le rapport $\frac{CR}{CN}$, le numérateur indique les consommations *réelles* inscrites dans ce petit tableau, et le dénominateur, les consommations *normales*, c'est-à-dire les totaux des colonnes 15, 16, 17, 18 et 19 du recto du rapport semestriel.

Si la machine fait mouvoir une pompe de cale spéciale, mentionner succinctement la cause de son fonctionnement. La durée de ce fonctionnement se portera à la colonne 23.

N° 77₃ Explications relatives au tableau du verso. — En tête. — *A gauche :* le millésime de l'année. — *A droite des mots : « Rapport semestriel »*, le nom du bâtiment, et tout à fait à l'angle supérieur de droite, le numéro du semestre.

Tableau. — *Colonne* 1. — Ce nombre d'heures est fourni par le mécanicien chargé du canot à vapeur ; il doit en faire le relevé à la fin de chaque journée et le porter sur un petit carnet spécialement affecté à cet usage, et sur lequel il mentionnera les dépenses de combustible, d'huile et de suif faites par la machine du canot à vapeur.

Colonne 2. — Ensemble, toutes les machines auxiliaires. Pour n'écrire qu'un seul chiffre qui puisse servir de base d'appréciation, on peut rapporter le nombre d'heures de marche de toutes les machines distinctes à une seule, que l'on désignera dans la colonne 19 des observations, et proportionnellement à la dépense de charbon. Exemple :

La pompe de cale mue par une machine spéciale a marché pendant 2h et a consommé 500kg de charbon	500kg,00
La machine des ventilateurs a marché pendant 2h et a dépensé 250kg.	250kg,00
Les machines des treuils ont marché pendant 20h et avec une consommation de 400kg	400kg,00

En rapportant tout à la pompe de cale on a :

Pompe de cale, 2^h.	2^h
Machine des ventilateurs, $2^h \times \frac{250}{500}$.	1^h
Machines des treuils, $2^h \times \frac{400}{500}$.	$1^h\ 36^m$
Total à inscrire:	$4^h\ 36^m$

Colonne 3. — Somme pour tout le semestre des consommations de houille pour toutes les machines auxiliaires et pour le canot à vapeur.

Colonne 4. — Ce chiffre est fourni par le commis aux vivres et certifié par l'officier d'administration.

Colonne 5. — Somme pour tout le semestre des consommations de houille faites pour le service des vivres. Cette quantité est relevée sur les casernets de quart, en totalisant les nombres inscrits pour le service des vivres à l'article ***consommations extérieures***.

Colonne 6. — Rapport $\frac{C'}{C} = \frac{\textit{nombre de la colonne } 5}{\textit{nombre de la colonne } 4}$; ce qui donne la dépense de combustible corespondant à une ration.

Colonne 7. — Total du charbon dépensé par les forges pour les travaux courants, pendant tout le semestre. Ces quantités sont inscrites sur les journaux de la machine à la colonne ***versements***, ***consommations extérieures***. Les dépenses faites pour les travaux extraordinaires, tels que : grandes réparations, chauffage d'une pièce dans un fourneau, asséchage des chaudières, chauffage de la chambre des machines ou de toute autre partie du bâtiment dans les pays froids, etc., sont reportées à la colonne 19 des observations avec mention succincte de la cause de ces dépenses.

Colonnes 8, 9 *et* 10. — Dans chacune, le nombre total d'heures pendant lesquelles l'appareil désigné a fonctionné pour le nettoyage de la carène, multiplié par le nombre d'hommes employés à ce travail.

Colonne 11. — Surface mouillée en mètres carrés. Cette surface est inscrite au registre descriptif, page 13, pour le tirant d'eau moyen *en charge*. On en déduit sa valeur pour le tirant d'eau moyen du semestre, en mesurant, une fois pour toutes, la longueur de la ligne d'eau à la flottaison au tirant d'eau moyen *en charge*, et en multipliant cette quantité par la *différence* entre le tirant d'eau moyen du semestre et le tirant d'eau moyen en charge; on obtient ainsi, d'une manière *suffisamment approchée*, ce qu'il faut ajouter ou retrancher au nombre inscrit au registre descriptif.

Colonne 12. — Rapport $\frac{S}{f+f'+f''} = \frac{\textit{nombre de la colonne } 11}{\textit{somme des nombres des colonnes } 8, 9 \textit{ et } 10}$; ce qui donne le nombre de mètres carrés nettoyés par un homme dans une heure de travail.

Colonne 13. — Somme pour les trois quarts et pour tout le semestre des nombres inscrits au repère 16 des journaux.

Colonne 14. — Puissance nominale officielle.

Colonne 15. — Rapport effectué $\frac{G}{F} = \frac{\textit{nombre de la colonne 13}}{\textit{nombre de la colonne 14}}$; ce qui donne le nombre d'heures d'entretien par cheval nominal.

Colonnes 16, 17, 18. — Ces coefficients doivent être déterminés en *service courant* et par calme. Quand on veut faire ces expériences, il faut régler le nombre de tours de la machine, le maintenir aussi exactement que possible, et à défaut de bases pour mesurer la vitesse, jeter le loch à plusieurs reprises. On a alors :

$$\text{Coefficient de recul} = \frac{\textit{pas de l'hélice — avance du navire pour un tour}}{\textit{pas de l'hélice}}.$$

Remarque. L'avance du navire pour un tour se calculera à l'aide de la formule : $A = \frac{0^m,514 V \times 60}{N}$; dans laquelle on représente par :

A l'avance pour un tour.
V le nombre de milles à l'heure.
N le nombre de tours d'hélice par minute.

Si l'hélice est à pas variable, c'est le pas de sortie qu'il convient de prendre pour la détermination du coefficient de recul, à moins qu'il ne soit spécifié qu'on a opéré différemment dans les essais officiels. Si dans ces essais l'on a pris le pas moyen, il fandra agir de la même manière en *service courant.*

Colonne 19 (observations). — Former dans cette colonne le petit tableau suivant :

NUMÉROS des colonnes.	DÉPENSES.		
	Huile.	Suif.	Charbon.
1	...k,...	...k,..	...k,...
2	...k,...	...k,...	...k,...
13	...k,...	...k,...	...k,...
Trav[x] extraordinaires.	...k, ..	. ...k,...	...k,...

Nota. — Il faut indiquer succinctement dans la *colonne* 19, le motif du fonctionnement du canot et des machines auxiliaires. S'il y a plusieurs machines auxiliaires, il faut indiquer celle à laquelle ont été rapportées les heures de fonctionnement.

N° 77_4 Coefficients de rendement. — Coefficient de rendement de la machine seule.

Recto, *au bas du tableau.* — 1[re] *ligne :* la valeur de H s'obtient en faisant la somme des totaux des colonnes 9, 11 et 13 du recto.

2[e] *ligne :* La valeur de H′ s'obtient en faisant la somme des trois produits :

c_s multiplié par le total de la colonne 8.
c_m — — 10.
c_p — — 12.

3° *ligne:* La valeur normale de ce coefficient = 1. (Voir les observations, ci-après, relatives à ce coefficient).

4° *ligne:* Ce rapport s'obtient en faisant:

$$\frac{\textit{somme des totaux des colonnes } 20 \textit{ et } 21 \textit{ du recto}}{\textit{somme des totaux des colonnes } 9,\ 11 \textit{ et } 13 = \mathrm{H}}.$$

La valeur normale de ce rapport est donnée au registre descriptif, page 21.

Remarque. Si le rapport obtenu surpasse notablement celui inscrit au registre descriptif, il y a lieu de mentionner succinctement dans la colonne 24 des observations, les causes qui ont déterminé l'augmentation de ce rapport.

5° *ligne* : Ce rapport s'obtient en faisant

$$\frac{\textit{total de la colonne } 22 \textit{ du recto}}{\textit{douze fois le nombre total de tonneaux de charbon introduits dans les fourneaux}}.$$

La quantité de charbon, formant le dénominateur de ce rapport, s'obtient en faisant la somme des totaux des colonnes 9, 11, 13, 15, 16, 17, 18 et 19.

La valeur normale de ce rapport est 0,12.

Pour le rapport de CR à CN, inscrit à la main dans la colonne *observations*, les valeurs de CN sont :

Pour la marche auxiliaire.	0,15C × total de la colonne 14.
Pour les foyers allumés, l'allocation réglementaire (n° 76_1).	multipliée par la somme des nombres inscrits au repère 10 des journaux.
Pour les feux remis en activité, l'allocation réglementaire (n° 76_1). . . .	multipliée par la somme des nombres inscrits au repère 11 des journaux.
Pour les feux entretenus, l'allocation réglementaire (n° 76_1).	multipliée par la somme des nombres inscrits au repère 12 des journaux.
Pour l'eau distillée, 16^k,666.	multipliée par la somme des nombres inscrits au repère 14 des journaux.

Observations relatives aux coefficients de rendement. — Toutes les fois qu'un coefficient de rendement atteint ou surpasse 1,2 de sa valeur *normale*, il faut justifier son augmentation. — Cette augmentation peut être justifiée :

1° Pour les *matières grasses* : par leur mauvaise qualité, par des échauffements, ou par l'état des portées exigeant un graissage plus abondant.

2° Pour les *escarbilles* : par la mauvaise qualité du combustible, par son état en poussière, ou par l'impossibilité *motivée* de les repasser au feu.

3° Pour l'*allumage* : par la mauvaise qualité du charbon, par son état en poussière, par la durée des appareillages ou des mouillages.

4° Pour la *marche auxiliaire*, la *remise en activité des feux* ou leur *entretien* : par la mauvaise qualité du charbon ou l'insuffisance des allocations réglementaires.

5° Pour la *distillation* : par la mauvaise qualité du charbon, par le fonctionnement du petit cheval refoulant de l'eau dans le réfrigérant, par l'allumage d'une chaudière exclusivement affectée à la distillation.

6° Pour le *coefficient de rendement économique* $\frac{H}{H'}$, il faut d'abord comparer les coefficients de recul obtenus pendant les essais officiels aux trois allures de marche sous vapeur, aux coefficients de recul trouvés dans les essais faits en *service courant*, pendant ce semestre, et qui sont inscrits aux colonnes 16, 17 et 18 (verso du rapport semestriel). Si les premiers sont plus grands que les seconds, c'est que l'état de la mer et l'action du vent ont contribué à augmenter le rapport $\frac{H}{H'}$. Si les coefficients des colonnes 16, 17 et 18 sont supérieurs à ceux des essais officiels inscrits au registre descriptif, page 35, c'est que la carène est sale ou l'arrimage défectueux; d'où une augmentation du rapport $\frac{H}{H'}$. — Enfin, si le coefficient de recul pour tout le semestre diffère peu du coefficient moyen de recul des essais officiels, toute la responsabilité de l'augmentation du coefficient de rendement économique retombe sur la machine, car l'influence du vent de la mer ou de l'état de la carène a été sensiblement nulle.

Cette augmentation peut être justifiée :

1° Par la mauvaise qualité du charbon; 2° par des fuites abondantes d'eau ou de vapeur aux chaudières; 3° par des fuites de vapeur intérieures ou extérieures dans la machine; 4° par un mauvais vide au condenseur déterminé par des rentrées d'air ou par un mauvais fonctionnement des pompes à air; 5° par une accumulation de sels sur les surfaces de chauffe.

Comme le coefficient moyen de recul pour tout le semestre est presque toujours supérieur au coefficient moyen de recul des essais officiels, il est bon de se rendre compte de la part de responsabilité qui incombe à la machine, en ramenant le coefficient de rendement économique à ce qu'il aurait été avec un recul moyen égal à celui des essais. A cet effet, on multiplie le coefficient de rendement économique du semestre par le rapport :

$$\frac{\textit{coefficient moyen d'avance du semestre}}{\textit{coefficient moyen d'avance des essais}},$$

on trouve ainsi le coefficient de rendement économique de la machine seule*.

En effet, pour un chemin parcouru de E milles, la dépense réelle est H et la dépense normale H'; d'où coefficient de rendement économique $=\frac{H}{H'}$. — Si nous désignons par A le coefficient moyen d'avance des essais, par a le coefficient moyen d'avance du semestre et par E le nombre de milles parcourus, nous aurons : E = pas de l'hélice $\times\, a$; chemin pour lequel nous prenons la consommation normale égale à H'.

---

* Le coefficient d'avance s'entend du rapport de l'avance du navire au pas.

$$\textit{coefficient d'avance} = \frac{\textit{avance}}{\textit{pas}}.$$

Si le coefficient moyen d'avance avait été A comme lors des essais, le chemin parcouru par le navire eût été : $E' = E \times \frac{A}{a}$ (en désignant ce chemin par E'), et la consommation normale H″ afférente à ce chemin E' serait donnée par l'expression suivante en fonction de H' : $H'' = H' \times \frac{A}{a}$, la consommation réelle restant toujours H.

Le coefficient de rendement économique ramené aux circonstances des essais serait :

$$\frac{H}{H''} = \frac{H \times a}{H' \times A} = \frac{H}{H'} \times \frac{a}{A}.$$

Remarque. — Ce petit calcul doit être fait fréquemment par le mécanicien chargé pendant le semestre, lorsque le charbon est de bonne qualité, et plus particulièrement lorsqu'il lui arrive de fonctionner à un nombre de tours pour lequel le recul est inscrit au registre descriptif. Il pourra ainsi s'apercevoir de bonne heure des dérangements intérieurs qui pourraient se produire dans le fonctionnement de l'appareil moteur.

N° 77_6 Résumé des consommations de houille. — Notice sur les charbons employés. — Compte rendu des circonstances qui ont pu modifier d'une manière sensible le rendement de l'appareil moteur.

Au verso. — *Résumé des consommations de houille en kilogrammes.*

1re *ligne.* — Somme des totaux des colonnes 9, 11 et 13 du recto.

2e *ligne.* — Total de la colonne 15 du recto.

3e *ligne.* — Somme des totaux des colonnes 16, 17 et 18 du recto.

4e *ligne.* — Total de la colonne 19 du recto.

5e *ligne.* — Nombre de la colonne 3 du verso.

6e *ligne.* — Nombre de la colonne 5 du verso.

7e *ligne.* — Nombre de la colonne 7 du verso, augmenté, s'il y a lieu, de la quantité inscrite dans la colonne observation sous la rubrique *Travaux extraordinaires.*

Le total de toutes ces consommations est la quantité de houille réellement dépensée pendant le semestre pour tous les services réunis.

Remarque. — Si on avait fait un versement à un service quelconque étranger au bâtiment, la quantité versée ne devrait pas figurer en consommation dans le rapport semestriel.

Notice sur les charbons employés. — Indiquer la provenance et la qualité des charbons employés pendant le semestre. Mentionner la manière dont ces charbons se comportent sur la grille ; s'ils encrassent peu ou beaucoup ; si la crasse est adhérente ou non ; s'ils exigent peu ou beaucoup de tirage. Indiquer également l'aspect de la flamme, de la fumée et de la suie ; l'épaisseur de la couche nécessaire pour obtenir le meilleur rendement ; ainsi que la proportion de menu ou de poussier à la sortie de la soute.

Transcription des ordres. — Compte rendu abrégé des circonstances particulières qui ont pu modifier d'une manière notable le rendement de la machine. — Cette note est rédigée par le capitaine. En ce qui concerne la machine, le mécanicien doit fournir les éléments nécessaires, d'après les observations qui ont été faites dans le cours de cette instruction, et, surtout, dégager le coefficient de rendement économique de la machine du coefficient de rendement économique du semestre, afin que le capitaine puisse se rendre compte de l'influence sur le coefficient de rendement économique général, des trois termes : *vent* et *mer*, *coque*, *machine*.

Les bulletins de voyage dressés à la fin de chaque traversée sont les pièces à consulter par le capitaine, pour la rédaction de cette partie du rapport semestriel.

Remarque. — En vue de tenir les ports au courant de toutes les circonstances, incidents ou accidents qui ont pu survenir dans les machines des bâtiments armés, et afin de fournir les moyens efficaces d'apprécier les qualités et les défauts des appareils et d'arriver à les perfectionner, une dépêche du 28 octobre 1872 prescrit aux commandants des bâtiments de joindre aux rapports semestriels une copie des *annotations* inscrites pendant le semestre sur les registres descriptifs et historiques. Cette copie doit être approuvée par les commandants, et elle est conservée dans le port auquel appartient le bâtiment.

CHAP. VI, § 5. — ENTRETIEN DES CHAUDIÈRES ET DES MACHINES.

N° 78. — 1. Essais à froid des chaudières. — 2. Enlèvement des dépôts salins ou graisseux. — Chaîne Joublin. — Courroie Lambert. — Appareil Rowlland. — 3. Conservation des chaudières sur les bâtiments désarmés.

N° 78_1 Essais à froid des chaudières. — Dès leur achèvement et avant leur mise à bord, les chaudières doivent être soumises à une épreuve à froid au moyen d'une pompe de compression. La même règle doit être suivie à l'égard d'une chaudière réparée. De plus, il est réglementaire de faire subir la même opération, chaque année, aux chaudières en cours de service.

Des ordonnances ministérielles règlent le mode de procéder à ces épreuves. Ces ordonnances peuvent se résumer ainsi qu'il suit* :

1° Toute chaudière neuve ou refondue doit être essayée sous une pression effective *double* de la pression de régime pour laquelle elle a été construite,

* Voir, notamment, le réglement du 30 juilllet 1877 (B. O., page 84), sur les essais des chaudières employées dans la marine.

toutes les fois que celle-ci n'excède pas 6 atmosphères. Lorsque la pression de régime excède 6 atmosphères, la *surcharge* d'épreuve doit être constante et égale à 6kg par centimètre carré. — Il importe de se rappeler d'ailleurs, qu'en France, la charge des soupapes de sûreté est toujours réglée sur le grand diamètre de ces soupapes.

2° Toute chaudière simplement réparée sera essayée, avant sa remise en service, à une pression effective égale à *une fois et demie* la pression de régime, toutes les fois que celle-ci ne dépassera pas 6 atmosphères. Pour des pressions supérieures à 6 atmosphères, la *surcharge* d'épreuve sera constante et égale à 3kg par centimètre carré.

3° Une chaudière en service à bord, subira chaque année la même épreuve qu'en 2° ci-dessus ; pourtant le premier essai n'est obligatoire que deux ans après la mise en place de la chaudière, si elle était neuve ou refondue au moment de son montage à bord.

4° Dans toutes les épreuves, la pression sera maintenue pendant le temps nécessaire à l'examen de toutes les parties de la chaudière ; on surveillera avec soin les déformations et on les mesurera. Le temps nécessaire à cet examen pourra varier de 5 à 10 minutes.

5° Toute chaudière d'un bâtiment armé ou en première catégorie de réserve subira l'essai à l'eau froide *une fois par an*. — Tout corps de chaudière d'un bâtiment en deuxième ou troisième catégorie de réserve subira l'essai à l'eau froide *une fois* tous les *deux ans*. — Si le bâtiment passe de la deuxième ou de la troisième catégorie de réserve à l'état d'armement, l'essai des chaudières sera obligatoire au commencement de l'armement, à moins que les chaudières n'aient subi l'essai depuis moins d'un an.

Les essais sont obligatoires pour tous les corps de chaudière, y compris ceux des machines auxiliaires.

Dans le cas où l'on concevrait quelques doutes sur l'état des chaudières d'un bâtiment, on pourra devancer l'époque de l'essai annuel, et on rendra compte au ministre du résultat de cet essai.

6° Il est recommandé de visiter les chaudières en service, aussi souvent que les circonstances le permettront, par les moyens généralement usités, tels que le marteau, l'inspection minutieuse par la vue, le percement de trous quand la présence d'un personnel expérimenté le permettra. Ce dernier procédé devra toujours être conduit de manière à ne pas affaiblir les chaudières. Toutefois, et sauf des cas exceptionnels, la visite par percement de trous ne doit avoir lieu pour les chaudières neuves ou refondues, qu'après la deuxième année ; et pour les chaudières réparées qu'après la première année de leur mise en service. A partir de ce moment, ce mode de visite peut être utilement renouvelé.

7° Quand dans les épreuves à l'eau froide d'un corps de chaudière, on apercevra des indices de fatigue avant d'arriver à la pression égale à *une fois et demie* la pression effective, on arrêtera l'opération, et les soupapes de sûreté de ce corps et des autres corps du même groupe seront chargées de manière que la pression effective de service soit les deux tiers de celle à laquelle on s'est arrêté.

Si l'essai à l'eau froide conduisait à l'emploi d'une pression inférieure aux

deux tiers de la charge maximum assignée à la chaudière lorsqu'elle était neuve, ce serait l'indication qu'il faut réparer, refondre ou changer l'appareil évaporatoire. Cependant il sera possible d'abaisser encore la charge des soupapes soit en cours de campagne, soit même au moment de la mise en service, lorsque, par la suppression de la détente variable, on pourra compenser l'effet résultant de la diminution de pression, en augmentant la durée de l'introduction dans les cylindres.

Dans ce dernier cas, comme dans les précédents, les chaudières devront être essayées à une fois et demie la pression de régime adoptée.

8° Après chaque essai on dressera un tableau qui sera joint au devis d'armement et dans lequel on consignera : les résultats des essais pour chaque corps; les observations recueillies pendant la visite faite en 6° ci-dessus, lorsque cette visite aura eu lieu; le nombre d'heures de chauffe de chaque corps, depuis que les chaudières sont à bord.

Ce tableau sera dressé et tenu à jour, par les divers services auxquels le bâtiment sera successivement confié. Il sera disposé conformément au modèle ci-joint :

Toute chaudière neuve ou refondue portera un timbre poinçonné indiquant le nom du constructeur et la pression maximum de la chaudière.

Pour mesurer les déformations, dont il est parlé en 4° ci-dessus, que peuvent éprouver les chaudières pendant l'essai à froid, on prendra à l'aide de jauges, alors que les chaudières sont sans pression, l'écartement des faces en regard des foyers et des boîtes à feu, ainsi que la distance des faces extérieures des enveloppes à des points fixes du bâtiment, telles que les murailles ou les cloisons des soutes. On mesurera également cet écartement pendant l'essai, et le rapprochement des faces en regard des foyers et des boîtes à feu, ou celui des enveloppes aux points de repère fixes pris sur le bâtiment, donnera la mesure des déformations. On consignera sur le tableau des essais, la valeur de ces déformations ainsi que la pression à laquelle elles se sont produites.

Lorsque dans la visite dont il est fait mention en 6° ci-dessus, l'on aura pratiqué des trous pour mesurer les épaisseurs des tôles; ces trous seront ensuite légèrement fraisés extérieurement, puis bouchés soit au moyen de rivets, soit par des goujons taraudés; les rivets devront être préférés s'il n'y a pas lieu de craindre que le choc occasionné par le rivetage détermine des fuites ultérieures. Si les chaudières sont fortement affaiblies il sera préférable d'employer des goujons.

Si après un essai fait en cours de campagne, une chaudière est reconnue affaiblie au point de ne pouvoir supporter une pression égale aux *deux tiers* de la pression primitive, on pourra la consolider en augmentant le nombre des tirants, des entretoises et des armatures; ces dernières pourront d'ailleurs être maintenues au moyen de boulons, si l'on craint que le rivetage ébranle la chaudière au point de déterminer des fuites. Après cette réparation, la chaudière sera essayée de nouveau, mais en ayant soin d'agir avec prudence, principalement à partir du moment où la pression aura atteint la valeur sous laquelle la chaudière avait préalablement cédé.

Le mode de procéder aux épreuves des chaudières dans la marine anglaise,

(RÈGLEMENT DU 30 JUILLET 1877. — B. O. page 84.)

LETTRES DE REPÈRE des corps de chaudières à partir de l'avant.	DATES des essais.	PRESSION EN KILOGRAMMES PAR CENTIMÈTRE CARRÉ				NOMBRE d'heures de chauffe depuis que les chaudières sont à bord.	RÉSULTAT de la visite prescrite à l'article 10. Épaisseur minima avec appréciation.	OBSERVATIONS.
		de régime quand la chaudière était neuve.	de régime avant les essais actuels.	sous laquelle ont été faits les essais.	de régime pour tous les corps résultant des essais actuels.			
A								
B								
C								
D								
E								
F								
G								
H								

NOTA. — Un croquis indiquant la disposition des chaudières et les lettres de repère, sera joint à ce tableau.

Fait à bord du   le   18

Les Membres de la Commission

diffère peu de celui employé en France. Les ordonnances de l'amirauté qui régissent la matière, sont sensiblement les mêmes que celles émanant du ministère de la marine française, que nous venons d'analyser. La seule différence consiste en ce que la pression d'essai des chaudières en service doit être double de la pression de régime, et que les essais des chaudières déjà vieilles doivent être faits tous les six mois.

Le mode de procéder aux épreuves à froid des chaudières et les précautions à prendre pour le refoulement de l'eau dans les générateurs, sont expliqués en détail au n° 160_4 du *Gd traité*, et peuvent se résumer ainsi qu'il suit :

Dans les divers ports, les ateliers de la Direction des constructions navales et l'atelier central de la réserve, disposent de pompes foulantes spécialement destinées à ces épreuves; ces pompes sont munies de manomètres étalons du système Bourdon et d'un tuyautage permettant de les mettre facilement en communication avec les chaudières à éprouver. Le plus habituellement, cette communication est établie par un trou de sel, en remplaçant la porte autoclave en fonte de la chaudière, par une porte en tôle munie d'une tubulure sur laquelle vient se raccorder le tuyau de refoulement de la pompe de compression. Ces portes font partie de l'outillage de la pompe.

En cours de navigation, la pompe à incendie peut remplacer la pompe de compression, si la pression d'épreuve ne dépasse pas 6kg par cm. c.. ce qui est le cas le plus habituel. On peut aussi employer le petit cheval lorsqu'il est manœuvrable à bras, et cela, pour toutes les pressions.

Quoi qu'il en soit, la pompe étant disposée, on fait d'abord le plein complet de la chaudière en ayant eu le soin de maintenir la soupape d'arrêt parfaitement fermée; en même temps, la soupape de sûreté est tenue ouverte ainsi que le robinet de purge de la boite de cette dernière soupape. Lorsque l'eau sort par ce robinet de purge on le ferme, on cale la soupape et on établit la communication du manomètre étalon avec le tuyau de refoulement de la pompe. — Si la soupape de sûreté est disposée sur la partie la plus élevée du générateur, tout l'air a été expulsé; et en pompant pendant quelques instants avec célérité, le manomètre ne tarde pas à indiquer la pression d'épreuve.

Comme la pression monte très-rapidement, il est important de ne pomper qu'à petits coups afin d'éviter les coups de bélier, surtout à partir du moment où la pression atteint celle du fonctionnement normal. Dès que le manomètre marque la pression d'épreuve, on ne fait plus pomper que pour maintenir cette pression, qui tend à tomber par le fait du gonflement de la chaudière.

Si le générateur est déjà affaibli, il est prudent de laisser un peu d'air dans le sommet. On met beaucoup plus de temps pour atteindre la pression d'épreuve, mais la chaudière fatigue beaucoup moins.

Les parties des chaudières qui s'usent le plus rapidement sont : les enveloppes, principalement dans les fonds et à la hauteur du niveau de l'eau; les culottes des cheminées; la partie supérieure des courants de flamme; les côtés des fourneaux et les fonds des cendriers; les fonds et les parties supérieures des boîtes à feu.

En France, lorsque les visites sont faites par les soins de la Direction des

constructions navales, deux trous sont percés dans chaque feuille de tôle composant la chaudière, et les parties, dont l'usure atteint ou dépasse le cinquième de l'épaisseur de la tôle lorsqu'elle était neuve, sont changées. Dans les visites fréquentes faites à l'intérieur des chaudières, on doit s'attacher à examiner avec soin les tirants, les entretoises et les points d'attache des tirants, principalement celles de ces parties placées à la hauteur du niveau normal de l'eau; ces pièces sont le plus habituellement recouvertes d'une couche d'oxyde très-épaisse, qui peut faire croire au premier abord, à une très-forte épaisseur de matière, alors que le métal est réduit à presque rien.

N° 78. Enlèvement des dépôts salins ou graisseux. — L'un des soins les plus importants pour assurer le bon fonctionnement des chaudières, leur conservation, et obtenir une bonne utilisation du combustible, consiste à maintenir l'intérieur des générateurs dans un parfait état de propreté.

Le nettoyage intérieur des chaudières est un travail très-long, pénible et ingrat, qui semble grossier et qui nécessite pourtant un grand soin de la part des hommes qui l'exécutent. Certaines précautions, énumérées en détail au n° 181. du *Gd traité*, sont indispensables pour mener à bien l'opération qui nous occupe. Lorsqu'on ne dispose que de marteaux, de pinces aciérées et de grattes, on parvient, à la longue, à nettoyer les faces planes des lames d'eau ainsi que les enveloppes et les ciels de fourneaux; mais le nettoyage des tubes présente de grandes difficultés et mérite une sérieuse attention.

Lorsque tous les tubes sont fixes on emploie avec avantage, pour ce nettoyage, soit la chaîne *Joublin*, soit la courroie *Lambert* dont il est parlé plus loin.

Certains mécaniciens ont employé un procédé plus expéditif et beaucoup moins fatigant, qui consiste, les chaudières étant vides, à allumer sur la grille un feu très-vif qu'on entretient avec des copeaux et autres matières donnant une longue flamme. La dilatation des tubes fait casser le sel qu'on entend craquer et qui se détache par plaques. Ce procédé est peu recommandable, car si l'on chauffe trop, la dilatation des tubes ébranle les joints sur les plaques de tête et on risque en outre de brûler les rivures de la boîte à feu.

Un système fondé sur le même principe, mais beaucoup plus pratique, consiste à chauffer chaque tube séparément et par parties, au moyen de mandrins en fer d'un diamètre de 6^{cm} environ, et de 30^{cm} à 40^{cm} de longueur. Ces mandrins sont soudés à des tringles de 2^{cm} à 3^{cm} de diamètre et de longueur suffisante pour pouvoir atteindre la boîte à feu. On les fait chauffer à la forge jusqu'au rouge et on les promène ensuite dans les tubes; par le fait de la dilatation des tubes, l'enveloppe de sel se brise et tombe dans le fond des chaudières, d'où elle est enlevée au moyen de petits rouables par les portes autoclaves. Avec une forge descendue dans la chambre de chauffe et trois mandrins, on peut facilement nettoyer une douzaine de tubes par heure, soit un peu plus d'un foyer par jour. L'homme qui manie le mandrin est averti par le craquement du sel que l'effet est produit et qu'il peut avancer son outil.

Ce procédé de nettoyage est assez recommandable; il est expéditif et il a le grand avantage de ne pas obliger les hommes à séjourner dans les chaudières, ce qui est très-malsain, surtout dans les pays chauds. L'homme qui manœuvre le mandrin doit avoir soin de ne pas le laisser trop longtemps à la même place, car une trop grande dilatation des tubes pourrait faire détacher les rivures des plaques de tête; aussi doit-il avancer son outil dès qu'il a entendu le craquement du sel.

Les dépôts graisseux qui se forment dans les chaudières alimentant des machines munies de condenseurs à surface, demandent pour leur enlèvement des soins analogues à ceux que réclame l'enlèvement des dépôts salins. Il importe notamment de s'assurer de l'état de l'air dans l'intérieur des chaudières avant de permettre à des hommes de s'y introduire. Ensuite il conviendra de boucher, à l'aide de tampons, les débouchés des tuyaux qui viennent aboutir dans l'intérieur des générateurs, afin d'éviter qu'ils ne soient obstrués par de l'oxyde ou des paquets de graisse. Cela fait, on fera gratter avec soin toutes les parties accessibles en enlevant les graisses à mesure. Les parties hautes dans le voisinage du niveau normal, les ciels des foyers près des boîtes à *feu* et le fond des chaudières, sont les points où se forment en général les plus fortes couches.

Les tubes sont très-difficiles à nettoyer directement, aussi après avoir enlevé *grosso-modo* la plus grande partie des graisses que l'on a pu atteindre, l'enlèvement des dépôts graisseux dans l'intérieur des chaudières pourra être complété en fermant d'abord les diverses portes autoclaves, puis le trou d'homme après avoir fait le plein à l'eau douce et avoir introduit dans la chaudière une certaine quantité de potasse et de soude caustique. On chauffera jusqu'à l'ébullition en laissant la soupape de sûreté ouverte pendant un certain temps, de manière à déterminer une agitation du liquide destinée à produire la saponification des graisses. Lorsqu'on supposera ce résultat atteint, on fermera pendant un temps la soupape de sûreté de manière à obtenir une pression suffisante pour faire une extraction complète.

Lorsque les chaudières sont pourvues de tubes démontables, ces derniers sont enlevés et facilement nettoyés sur le parquet de chauffe; quant aux tubes fixes, leur nettoyage devient relativement facile, car les grattes, les demi-lunes ou les pinces sont introduites par les trous des tubes démontés.

Chaîne Joublin. — Cette chaîne, représentée par la *fig.* 27, *pl.* VIII, est destinée à détacher le sel qui se dépose sur les tubes des chaudières. Il existe deux espèces de chaîne : l'une droite, l'autre hélicoïdale.

Fig. 27, Pl. VIII. Dans la chaîne droite A, *vue* 1°, les maillons *a* en acier trempé, sont installés à la Vaucanson et placés alternativement sur deux et sur trois de front. Ces maillons sont taillés de chaque côté en queue d'aronde, et présentent ainsi deux pointes qui avec le milieu de la face droite intérieure, sont sur un arc de cercle dont le diamètre est celui des tubes des chaudières. — La chaîne se passe en sautoir sur trois tubes *d*, comme le montre la *vue* 4°, et l'on gratte ainsi trois

demi-tubes à la fois. Pour passer la chaîne, l'extrémité de celle-ci est munie d'un cordon *b* que l'on manœuvre au moyen d'un crochet *c*. La chaîne devant être passée sur les trois tubes d_1, d_2 d_3 par exemple, le cordon *b* est descendu en b_1 puis le crochet *c* est passé dans l'intervalle b_2 et va prendre le cordon *b* en dessous du tube d_1 et le remonte. Le double est gardé en b_2 et le bout libre est descendu dans le même intervalle ; le crochet *c* reprend ce bout au-dessus du tube d_2, et le remonte dans l'intervalle b_3. On laisse aller le double b_2 et on le retient seulement en b_3, en laissant retomber le bout libre dans ce dernier intervalle, d'où il est repris par le crochet en dessous du tube d_3 et remonté dans l'intervalle b_4. Le double b_3 étant abandonné, on tire sur le cordon b_4 jusqu'à ce que l'extrémité de la chaîne vienne en main. Il n'y a plus alors qu'à tirer alternativement sur les deux bouts de la chaîne, en la faisant glisser sur toute la longueur des tubes, pour détacher le sel qui les recouvre.

Pour les parties avoisinant les courants de flamme, où l'homme ne peut pas être placé directement au-dessus des tubes, il faut installer des retours, comme pour la courroie Lambert dont il est question ci-après. — Lorsque les moitiés des trois tubes sur lesquels la chaîne est en prise sont nettoyées, on repasse la chaîne en avançant d'un rang de tubes, et ainsi de suite ; on arrive de cette façon à nettoyer complétement tous les tubes, sauf ceux des rangées extrêmes. Pour ces derniers, on emploie plus spécialement la chaîne hélicoïdale, A_1, *vue* 2°.

Les maillons a_1 de cette chaîne ont la même forme que ceux de la chaîne droite ; mais il n'y en a que deux à chaque rang, en avançant toujours d'un maillon sur le même côté. De cette façon la chaîne peut être enroulée sur le tube et y faire un tour et demi sans que les maillons se rencontrent. Voici comment on passe la chaîne hélicoïdale, sur le tube *e* par exemple. Le cordon de la chaîne est descendu dans l'intervalle *f*, *vue* 4° ; le crochet descendu dans l'intervalle f_1, prend ce cordon en *dessous* du tube *e*, et le remonte. Le double étant gardé en f_1, le bout est redescendu ; le crochet engagé en *f*, dans l'intervalle le reprend *au-dessus* du tube *e*, et le remonte. Le double est lâché en f_1 et conservé seulement en *f*. Le bout libre du cordon est de nouveau redescendu par l'invalle *f*, repris comme la première fois en dessous du tube *e*, et remonté dans l'intervalle f_1. On lâche alors le double en *f*, et on tire sur f_1, le cordon fait un tour et demi sur le tube, et est remplacé ensuite par la chaîne qui vient à l'appel du cordon, et qui prend la position représentée par la *vue* 3°. — La chaîne est alors manœuvrée en tirant alternativement par chacune de ses extrémités, et en la faisant glisser sur toute la longueur du tube.

La chaîne hélicoïdale est très dure à manœuvrer ; aussi ne s'en sert-on que pour les tubes des rangées extrêmes que la chaîne droite ne peut nettoyer complétement. On comprend même que la chaîne hélicoïdale devient inutile si, pour les tubes des rangées extrêmes, on installe des retours pour que l'un des cordons de la chaîne droite sorte par le trou de sel voisin.

Bien que la chaîne droite soit d'une manœuvre plus facile que la chaîne hélicoïdale, elle n'en exige pas moins l'emploi de deux hommes. La résistance qu'ils doivent vaincre est toujours assez grande pour qu'ils ne puissent pas s'apercevoir immédiatement de la disparition du sel sur les tubes, de sorte

qu'on est exposé à frotter ces derniers à nu, et par suite à les raguer fortement. — La chaîne Joublin débarrasse promptement les tubes du sel qui les recouvre, mais il faut opérer avec la plus grande circonspection.

— Cet outil, qui a été réglementaire pendant quelques années, est actuellement remplacé par les courroies *Lambert*.

Courroie Lambert. — La courroie Lambert. *fig.* 28, *pl.* VIII, destinée à remplacer la chaîne Joublin, est d'une manœuvre plus commode que cette dernière, et offre plus de sûreté pour les tubes.

Fig. 28, Pl. VIII. — Sur une courroie en cuir A, terminée par deux poignées B, destinées à recevoir des cordons, sont rivetées des griffes en acier trempé *a*, *vues* 3° et 4°, contre-tenues, de l'autre côté de la courroie, par de petites plaques en fer *a'*, *vue* 5°. Les griffes *a* ont leurs bords, dans le sens de la longueur de la courroie, relevés à angle droit; ces bords ont été creusés par trois coups de tiers-point, et forment ainsi quatre dents, *vue* 6°, dont les angles intérieurs sont abattus en chanfrein, pour former une arête vive. — Bien que la courroie soit droite, l'élasticité du cuir permet de lui faire exécuter un tour complet sur le tube, et en tirant alternativement sur les deux extrémités, les griffes détachent le sel.

Les *vues* 1° et 2° montrent la courroie installée sur un tube; cette courroie se passant, d'ailleurs, au moyen de ses cordons et d'un crochet, d'une manière analogue à ce que nous avons expliqué pour la chaîne Joublin. — Les colliers C, *vue* 7°, portant les poulies de retour *c*, sont passés, sur deux tubes des rangées horizontales extrêmes, l'un en haut, l'autre au bas. Ces colliers peuvent glisser sur les tubes, mais ils sont retenus par des cartahus 1, 2, faisant retour sur des tirants ou des entretoises. Les cordons *b*, fixés aux poignées B de la chaîne, sont tirés obliquement par les hommes, au lieu d'être tirés verticalement comme dans la chaîne Joublin. L'un de ces cordons, celui du haut, est tiré vers l'arrière de la chaudière, tandis que celui du bas, qui sort par un trou de sel, est tiré vers l'avant. Il résulte de l'action opposée de ces cordons *b*, que la courroie glisse un peu sur le tube à chaque traction; le tube ne risque donc pas d'être coupé. De plus, l'action oblique des cordons empêche les deux bouts de la courroie de mordre l'un sur l'autre. — Pour les tubes placés au milieu du faisceau tubulaire, le cordon inférieur est en outre tiré très-obliquement par rapport à la façade de la chaudière; les chapes des poulies *c* sont à émerillon, ce qui leur permet de toujours s'orienter convenablement. Pour les parties des tubes qui avoisinent les plaques de tête avant, il est nécessaire d'installer un deuxième retour pour le cordon inférieur *b*, placé en dedans de la chaudière, à l'ouverture du trou de sel. — On fait avancer la courroie sur le tube en embraquant les cartahus 1, ou en leur donnant du mou selon le besoin.

La courroie Lambert, déjà préférable à la chaîne Joublin au point

de vue de la facilité de la manœuvre et de la sécurité pour les tubes, est d'une construction beaucoup moins dispendieuse, et peut d'ailleurs être facilement réparée et même confectionnée à bord.

Appareil Rowland. — Le ramonage des tubes des chaudières au moyen d'écouvillons, est une opération qui demande beaucoup de temps et qui, par suite, n'est pas sans présenter de graves inconvénients, lorsqu'il est nécessaire de l'effectuer sous vapeur. La production de vapeur est presque nulle dans la chaudière sur laquelle on opère; de plus, l'air froid qui pénètre par les portes des boîtes à tubes nuit au tirage, détermine une combustion imparfaite et occasionne des contractions préjudiciables à la conservation des appareils évaporatoires. Il importe, par suite, d'effectuer le ramonage sous vapeur avec la plus grande célérité. Pour atteindre ce résultat, on emploie, depuis quelque temps déjà, le ramoneur à vapeur connu sous le nom d'appareil *Rowlland.*

Cet appareil se compose d'un tube en caoutchouc vulcanisé, portant à l'une de ses extrémités un raccord en bronze pouvant se visser sur la tubulure d'un robinet ou d'une soupape de prise de vapeur; l'autre extrémité du tube est terminée par une lance en cuivre avec manche en bois. Le robinet ou la soupape de prise de vapeur est fixé sur le coffre à vapeur de la chaudière, et le tuyau en caoutchouc est vissé à son poste chaque fois qu'il y a lieu de procéder au ramonage. La longueur du tuyau doit être telle que l'on puisse atteindre tous les tubes de la chaudière avec la lance.

Lorsque l'on veut effectuer en marche le ramonage d'un corps de chaudière, on dispose un échafaudage avec une planche mise sur deux seaux à escarbilles, en regard du groupe de tubes sur lequel on veut opérer; l'appareil étant vissé sur la tubulure de prise de vapeur, un homme se place au robinet ou à la soupape, et un autre saisit à la main le manche en bois de la lance; puis, ayant ouvert la porte de la boîte à tubes, ce dernier monte sur l'échafaudage et introduit l'extrémité de la lance successivement dans chacun des tubes, en commençant par la rangée supérieure. L'homme placé à la manœuvre de la prise de vapeur ouvre l'obturateur et le ferme presqu'aussitôt, dès que le premier l'avertit que la lance est introduite dans un tube. Le jet de vapeur chasse la suie du tube et la projette dans la boîte à feu.

Le ramonage se fait très-rapidement à l'aide de l'appareil *Rowland*, et ne présente pas le moindre danger lorsque les deux hommes chargés de la manœuvre s'entendent bien; en outre, il n'est pas nécessaire de laisser tomber le fourneau correspondant au groupe de tubes à ramoner. Les inconvénients de ce mode d'opérer sont d'occasionner une dépense de vapeur et de projeter de la suie sur le pont; mais le premier de ces inconvénients est largement compensé par le fait de la moins longue durée de l'opération.

Lorsque l'on est très-pressé, on peut opérer sans faire fermer la soupape ou le robinet pour chaque tube; l'homme muni de la lance se tient un peu à distance de la boîte à fumée, et fait passer rapidement la lance en regard de chaque tube en procédant horizontalement, et en commençant par la rangée supérieure. — Dès qu'un groupe est ramoné, on ferme la boîte à tubes, on

remet en activité le fourneau correspondant, puis on procède au ramonage d'un nouveau groupe.

N° 78, Conservation des chaudières sur les bâtiments désarmés. — Lorsqu'un bâtiment passe de la position d'armement à celle de réserve ou de désarmement, le personnel mécanicien est conservé à bord après le débarquement du reste de l'équipage, et cela jusqu'à ce que les machines et les chaudières aient été visitées et placées dans le meilleur état possible pour assurer la conservation de ces appareils. Cette opération constitue ce que l'on appelle la mise en réserve de la machine et des chaudières.

Pour placer les chaudières en position de réserve, on commence par procéder au ramonage de la cheminée, des tubes et des courants de flamme, ainsi qu'au nettoyage des fourneaux et des cendriers. Puis, on ouvre les chaudières et on enlève avec soin les dépôts et les incrustations de tous genres existant à l'intérieur, en prenant à cet effet toute les précautions énumérées précédemment.

Les cheminées doivent être grattées avec soin, puis peintes au minium ou au gris de zinc tant à l'intérieur qu'à l'extérieur; elles sont ensuite recouvertes de leur capot, en ayant soin de s'assurer que ces derniers sont parfaitement étanches. Les tuyaux d'échappement sont également recouverts de capots étanches. — Les boîtes à feu et à fumée, les conduits de fumée et les foyers sont également grattés et peints comme la cheminée; quelquefois, au lieu de la peinture, on se contente de frotter un bouchon gras sur les parois des foyers après qu'elles ont été bien nettoyées.

Les divers robinets des chaudières sont démontés et rodés, s'il y a lieu; il en est de même des diverses soupapes. Ces organes sont ensuite remontés après avoir été préalablement huilés, ainsi que leurs divers organes de manœuvre. Les divers tuyaux aboutissant aux chaudières sont grattés et maintenus tels quels extérieurement; intérieurement ils doivent être parfaitement asséchés; à cet effet, on enlève une clef de robinet ou l'on casse un joint vers la partie la plus basse des tuyaux pour qu'ils puissent se vider entièrement; puis, l'on fait au besoin un joint plein sur le parcours des tuyaux établissant la communication entre l'intérieur des chaudières et la mer, afin d'éviter les infiltrations.

On peut même, si on le juge nécessaire, laisser une partie de ces tuyaux démontée, afin que, dans le cas où la fermeture incomplète des robinets laisserait suinter un peu d'eau, cette eau puisse tomber dans la cale sans séjourner dans les tuyaux. Dans le cas où l'on prendrait cette dernière détermination, il faudrait faire un joint plein sur l'extrémité du tuyau attenant à la chaudière, à moins qu'il n'existe un obturateur permettant d'empêcher l'air de pénétrer dans le générateur. — Les autres tuyaux, tels que ceux d'alimentation, de conduite de vapeur, et, en général, tous ceux qui ne communiquent pas avec une prise d'eau, demeurent entièrement montés après qu'ils ont été asséchés et que leurs soupapes ou robinets ont été rodés.

Quand les chaudières sont parfaitement nettoyées et asséchées intérieurement, les soupapes et les robinets rodés et les tuyaux vidés, on procède à leur fermeture. Plusieurs procédés sont actuellement en usage pour empêcher

l'oxydation de l'intérieur des générateurs. Ces procédés sont : 1° la fermeture à l'air chaud, connue sous le nom de procédé *Rabourdin* ; 2° la fermeture à la chaux vive ; 3° un procédé mixte consistant dans l'emploi simultané des deux premiers modes de fermeture.

Le procédé *Rabourdin* consiste à expulser de l'intérieur des chaudières l'air qui s'y trouve, et à le remplacer par de l'acide carbonique. Voici comment on procède pour atteindre ce résultat. Les chaudières étant préparées comme nous l'avons dit plus haut, les divers robinets et soupapes aboutissant à la chaudière étant fermés, leurs organes de manœuvre sont amarés afin que, par inadvertance, on ne puisse les ouvrir. Les trous d'homme et les portes autoclaves sont disposés pour qu'on puisse les fermer simultanément ; et, à cet effet, les tresses sont mises sur les portes après avoir été préalablement enduites de blanc de céruse ou de suif. Cela fait, on garnit de charbon de bois et on allume un nombre suffisant de petits réchauds de 60 à 80 centimètres de longueur, et d'une largeur telle qu'ils puissent être introduits par les portes autoclaves. Ces réchauds, au nombre de six ou de huit pour une chaudière à quatre fourneaux, sont introduits par les portes du bas et par celles placées à la hauteur des ciels de fourneau ; on les alimente jusqu'à ce que la température de l'enveloppe ait atteint 60 à 70 degrés. Ces réchauds sont déplacés de temps en temps dans le sens de la longueur de la chaudière, afin que toutes les parties de celle-ci soient également échauffées.

Cette opération nécessite habituellement de trois à quatre heures, et exige la consommation de 5 à 6 kilogrammes de charbon de bois par fourneau, pour les chaudières réglementaires à faces planes. On reconnaît que l'air est suffisamment raréfié et qu'il est remplacé par de l'acide carbonique, lorsque la combustion semble sur le point de cesser. A ce moment, on retire tous les réchauds à la fois, puis l'on ferme simultanément toutes les portes, si l'on dispose d'un nombre d'hommes suffisant. Dans le cas où l'on ne pourrait pas fermer toutes les portes à la fois, on fermerait d'abord celles du bas, puis celles du haut, en retirant les réchauds à mesure, et enfin le trou d'homme. La fermeture des portes doit s'effectuer avec célérité, afin d'emprisonner l'acide carbonique.

Pour effectuer la fermeture des chaudières par le procédé *Rabourdin*, il convient de profiter d'une série de beaux jours et d'un temps très-sec ; car, dans ces conditions, l'intérieur des chaudières n'étant pas chargé d'humidité, l'opération s'effectue plus rapidement et la conservation des chaudières est mieux assurée contre la formation de l'oxyde.

Sur les bâtiments en réserve, dont les chaudières sont fermées par ce procédé, on renouvelle l'opération tous les six mois ; généralement, les visites s'effectuent au commencement du printemps et au commencement de l'automne.

Le *deuxième procédé*, qui tend beaucoup à se répandre aujourd'hui, et qui a d'ailleurs donné d'excellents résultats, consiste à introduire dans la chaudière de petits bassins en tôle, contenant une certaine quantité de chaux vive destinée à absorber l'humidité et à empêcher l'oxydation. Ces petits bassins sont confectionnés de manière à pouvoir être introduits par les trous de sel et les

portes autoclaves; ils sont au nombre de douze par corps de chaudière de quatre fourneaux, et généralement disposés ainsi qu'il suit : quatre dans les fonds, quatre à la hauteur des ciels de fourneau, et quatre dans le coffre à vapeur; ils sont suspendus aux entretoises ou aux tirants à l'aide de crochets en fort fil de fer. La dépense de chaux vive est de 20^dm.cub.^ par fourneau.

On profite également d'une série de beaux jours pour introduire les bassins à chaux, et fermer les chaudières après les avoir toutefois bien nettoyées et asséchées. Ce dernier procédé est plus expéditif et moins coûteux que le système *Rabourdin*, et donne souvent de meilleurs résultats. Quelquefois on emploie simultanément les deux modes de préservation, c'est-à-dire que les chaudières ayant été traitées comme dans le système *Rabourdin*, on y introduit des bassins de chaux vive avant d'en opérer la fermeture.

Dans le but d'assurer la conservation des chaudières sur les bâtiments désarmés, il est de la plus haute importance de suivre les prescriptions énumérées aux numéros 181 $_{2 \text{ et } 3}$ du *G^d Traité*. En outre, il sera nécessaire de procéder, aux époques prescrites par les règlements, aux essais à l'eau froide. Ainsi que nous l'avons dit au commencement du présent numéro, les résultats de ces essais seront consignés sur un tableau du modèle page 459, et inscrits au journal descriptif et historique de la machine (page 18 et suivante de la partie historique).

Pour les *bâtiments armés*, dont les chaudières doivent être prêtes à fonctionner au premier ordre, on emploie avec avantage le procédé suivant :

Après qu'une chaudière a été nettoyée et asséchée, on place dans chacun de ses fourneaux, près de l'entrée du cendrier, un réchaud que l'on peut alimenter avec de la houille; les trous de sel placés au-dessus et à côté des foyers étant fermés, on met, à l'intérieur, de petits réchauds au charbon de bois près des trous de sels du bas. La soupape de sûreté reste ouverte. Lorsqu'on juge que la chaudière ne renferme plus que de l'air sec, les trous de sel du bas sont fermés, et on laisse retomber la soupape de sûreté sur son siége. — Pour empêcher les infiltrations d'eau de pénétrer dans la chaudière, il conviendrait d'installer de petits robinets de purge sur les tuyaux d'alimentation et sur ceux d'extraction.

N° 79. — 1. Essais des machines après le montage ou après des réparations importantes. — 2. Entretien des machines sur les bâtiments en réserve et désarmés. — 3. Entretien des condenseurs à surface et soins à donner à ces appareils et à leurs accessoires sur les bâtiments en réserve et désarmés.

N° 79_1 Essais des machines après le montage ou après des réparations importantes. — Dès le commencement du montage d'une machine, des ordres ministériels prescrivent d'embarquer deux ou trois mécaniciens sous les ordres d'un officier de vaisseau, pour suivre cette opération.

Que l'appareil ait été construit par l'industrie, par un arsenal ou par l'usine d'*Indret*, le montage ainsi que les premiers essais sont dirigés par l'usine qui

a fourni la machine; cette usine est également chargée de l'entretien et de la conservation de l'appareil jusqu'à ce que ce dernier ait été admis en recette.

Le mécanicien embarqué pour suivre le montage, tient un journal sur lequel il note jour par jour les travaux exécutés par les monteurs et les moyens employés par eux; de plus, il dresse un cahier, dit de montage, sur lequel il relate toutes les données de la machine, les différents repères, ainsi que tous les éléments propres à éclairer le mécanicien appelé plus tard à diriger l'appareil. Sur ce cahier de montage, il mentionne au fur et à mesure de l'avancement des travaux :

1° *Pour le plan de pose.* — Les différentes lignes de repère tracées sur ce plan ou sur les faces latérales des carlingues; le nombre, la disposition, et les dimensions des boulons de fixation soit de la plaque de fondation, soit des pièces fixes, suivant que la machine est montée sur une plaque de fondation ou directement sur les carlingues. Si ces dernières sont en fer, il mentionne s'il y a eu ou non interposition d'une couche de bois entre les carlingues et la face inférieure des pièces fixes; et dans le cas d'une semblable interposition, la nature et l'épaisseur de la couche du bois interposé.

Un dessin coté devra d'ailleurs accompagner la page sur laquelle ces renseignements seront consignés.

2° *Pour les pièces fixes.* — Le mode de jonction de ces pièces entre elles et avec les carlingues ou la plaque de fondation suivant le cas; la nature et l'épaisseur de la couche du mastic interposé; la position des différents points de repère, leur but et les distances de ces points à ceux auxquels ils se rapportent. Si le montage de ces pièces présente une particularité quelconque, il devra en être fait mention sur le cahier de montage, et un dessin coté sera annexé à ce renseignement.

Il sera également utile d'indiquer les dimensions principales et les poids des différentes pièces fixes, telles que cylindres, bâtis, condenseurs; les sections des robinets de prise d'eau et de décharge; le mode de fixation et la disposition des manchons traversant la muraille et servant à la tenue de ces robinets; la disposition du tube d'étambot, etc.

En un mot, le cahier de montage doit fournir tous les renseignements de nature à éclairer aussi complètement que possible tout mécanicien appelé à remplacer du jour au lendemain celui qui a suivi le montage. A cet effet, des dessins en nombre suffisant devront être joints à ces divers renseignements.

3° *Pour les pièces mobiles.* — L'agencement des différentes pièces entre elles, principalement pour celles qui sont cachées, les précautions particulières à prendre tant pour leur montage que pour leur démontage; les points de repère, leur position et leur distance à ceux auxquels ils correspondent; les longueurs d'axe en axe; le genre de garniture des tiroirs, des presse-étoupe, etc., leur mode de serrage, le pas des vis de serrage ou le cône des clavettes; la nature du métal des divers coussinets.

Si les bagues métalliques des pistons, les barrettes et les garnitures des tiroirs sont garnies d'antifriction, il devra en être fait mention au cahier de montage. Au fur et à mesure de l'embarquement des pièces, et avant leur montage, le mécanicien relèvera ou fera relever les croquis cotés de toutes les

pièces tant fixes que mobiles de la machine ; il s'attachera principalement à relever les croquis des pièces qui seront cachées après le montage.

Des dessins, d'après les croquis ainsi relevés, seront ensuite exécutés à l'échelle; et outre les dessins de ces pièces de détail, le mécanicien exécutera ou fera exécuter les dessins d'ensemble des diverses parties de l'appareil.

Si, pendant le cours du montage, le mécanicien remarquait des agencements défectueux, des dispositions fâcheuses de quelques organes, ou des pièces avariées ne présentant pas des garanties suffisantes de solidité, il noterait son opinion sur le cahier de montage et soumettrait ses observations à l'officier chargé de suivre les travaux de montage.

Tous les dessins dont il est fait mention plus haut, doivent être faits en double expédition : l'une est annexée au cahier de montage et la seconde est remise à la majorité de la flotte où elle est conservée pour former les archives de la machine du bâtiment.

Toutes les semaines, le mécanicien dresse un rapport des travaux exécutés et il le remet à l'officier chargé du bâtiment, qui le vise et le transmet à la majorité de la flotte.

A partir du jour où le bâtiment prend armement pour essai et que le personnel mécanicien embarqué est suffisant, ce personnel concourt à la propreté et à l'entretien de la machine et des chaudières.

Pendant les essais préliminaires faits pour le compte de l'usine qui a fourni l'appareil, le personnel mécanicien embarqué assiste en spectateur à ces essais, et étudie les précautions particulières à prendre avant et pour la mise en marche, ainsi que les soins spéciaux à donner à l'appareil pendant le fonctionnement. Afin d'être renseigné d'une manière complète, le mécanicien chargé distribue son personnel de façon que chacun des organes soit surveillé ; il fait en outre des rondes fréquentes pendant le fonctionnement, et prend note de tous les faits intéressants qui se sont produits pendant ces essais. Il consigne ses observations sur le journal et sur le cahier de montage.

S'il se produit des avaries, s'il y a lieu de prendre des mesures particulières pour la mise en marche ou pour les stoppages, s'il remarque des difficultés graves pour la surveillance ou pour le graissage de certains organes, il rend compte de ses observations à l'officier chargé de la machine et à l'officier en second, et il en prend note sur le journal.

Lors des essais officiels faits en présence de la commission de recette, le mécanicien chargé, tout en étudiant le fonctionnement de la machine, exerce une sorte de contrôle sur la manière dont fonctionne le moteur, principalement si la machine est fournie par l'industrie. Il fait notamment tenir un compte exact de la dépense de combustible et de matières grasses aux différentes allures. A cet effet, il assiste ou il fait assister l'un de ses hommes au pesage du charbon qui doit être brûlé lors de ces expériences; il fait prendre note toutes les demi-heures ou plus souvent si c'est nécessaire, de la pression aux chaudières, du vide aux condenseurs, de l'ouverture des registres, de la concentration de l'eau des chaudières, etc.

Dans ces essais, la commission s'assure que la machine fonctionne sans échauffements ni chocs, qu'elle développe ou qu'elle est susceptible de déve-

lopper toute la puissance qu'on doit en attendre; qu'il n'existe ni fuites extérieures ni fuites intérieures; que le vide au condenseur est satisfaisant; que la dépense de vapeur et de combustible par cheval indiqué n'excède pas la quantité prévue par le marché; que les dispositions prises, tant pour assurer la surveillance que pour vérifier le graissage, sont satisfaisantes; et que le renversement de marche peut s'effectuer dans un temps n'excédant pas celui stipulé sur le marché. En outre, la machine est mise successivement à différentes allures, et on note dans chaque cas la vitesse du bâtiment, le nombre de tours de la machine, la pression aux chaudières, le vide aux condenseurs, l'ouverture des registres et des régulateurs d'injection, la durée de l'introduction; on relève en même temps et simultanément, des diagrammes sur les deux faces des pistons des divers cylindres. Les calculs de ces diagrammes fournissent les puissances développées aux diverses allures.

La marche à toute puissance doit être tenue pendant au moins quatre heures consécutives s'il s'agit d'une machine neuve. La mesure de la vitesse résulte de plusieurs parcours successifs, deux à deux de sens inverses, le long d'une base mesurée.

Dans certains cas, notamment lorsqu'il s'agit d'essayer une machine venant de subir une réparation importante, on s'abstient de faire des essais à outrance, afin de ne pas fatiguer les organes de la machine; parfois même on se borne à des essais sur place. Dans ces cas, il convient de n'employer que le nombre des chaudières nécessaire pour obtenir le nombre de tours qu'on ne veut pas dépasser, car c'est en agissant ainsi que l'on peut, en rapportant la puissance développée au nombre de mètres carrés de grille employés, en déduire la puissance que l'on obtiendrait si toutes les chaudières avaient été mises en fonction.

Dans les expériences destinées à vérifier le bon état des machines ayant subies de fortes réparations, les commissions s'attachent à s'assurer que toutes les chaudières fonctionnent sans fuites à la pression voulue; que la machine tourne sans chocs ni échauffements à une vitesse au moins égale à celle qui correspond à la grande vitesse en service ordinaire; et enfin que la puissance obtenue par mètre carré de grille des chaudières employées, est en rapport avec ce qu'on doit attendre de l'appareil expérimenté.

A la suite des essais officiels, et alors que ces essais ont été reconnus satisfaisants par la commission, le mécanicien chargé soumet, s'il y a lieu, ses observations au commandant du bâtiment, qui les transmet au président de la commission s'il le juge opportun. Dans ce cas, la commission ordonne les modifications réclamées, ou fait mentionner au procès-verbal les observations qui lui sembleraient de nature à sauvegarder la responsabilité du mécanicien, en cas d'accident provenant des faits qui lui sont signalés.

A partir de ce moment, le mécanicien chargé prend la responsabilité de l'appareil. Il doit dès lors se conformer aux instructions données aux n°s 181 et 182 du *Gd traité* relatives à l'entretien des machines et des chaudières.

N° 79, Entretien des machines sur les bâtiments en réserve ou désarmés. — Si le bâtiment désarme définitivement à la suite

clapets en caoutchouc sont conservés à l'abri de la chaleur et de la lumière; il convient même de les conserver dans une caisse pleine d'eau que l'on renouvelle tous les quinze jours. Cette dernière mesure est règlementaire.

2° et 3° *catégorie.* — Les bâtiments placés dans ces catégories doivent avoir leurs machines en bon état, mais non prêtes à fonctionner au premier ordre.

Avant qu'un navire soit admis dans l'une ou l'autre de ces catégories, il est procédé à des essais en présence d'une commission nommée par le Préfet maritime, et de laquelle fait toujours partie le commandant de la réserve, assisté du mécanicien principal du bâtiment central.

Lorsque ces essais sont reconnus satisfaisants, le Ministre en est avisé, et il indique la catégorie dans laquelle le bâtiment doit être placé.

Que le navire arrive de campagne, ou qu'il vienne d'être armé en essai, le personnel mécanicien embarqué est maintenu à bord pendant un mois au moins après le désarmement du bâtiment, à l'effet d'effectuer les nettoyages et les visites prescrites par les règlements, pour la mise en réserve de la machine et des chaudières.

Voici le résumé succinct des opérations à effectuer pour la mise en réserve:

Chaudières. — Les chaudières sont vidées, asséchées, puis parfaitement nettoyées intérieurement et extérieurement, les incrustations et les dépôts de tous genres sont soigneusement enlevés. Cela fait, les chaudières sont fermées par l'un des procédés indiqués au n° 78_3. Les parties non feutrées et accessibles sont peintes au minium ou au gris de zinc.

Les cheminées sont grattées avec soin et peintes au minium ou au gris de zinc, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur; elles sont recouvertes de capots étanches, ainsi que les tuyaux d'échappement.

Avant la fermeture des chaudières, les différents robinets et les soupapes sont rodés s'il est nécessaire, et leurs organes de manœuvre sont visités et huilés.

Le tuyautage de vapeur reste totalement monté avec les joints faits à demeure. En prévision des infiltrations d'eau dans les chaudières, un joint au moins, de chaque tuyau d'eau est brisé pour laisser écouler dans la cale l'eau qui pourrait ainsi suinter; ou bien on prend la précaution de faire un joint plein sur le parcours du tuyau. Dans ce dernier cas, le mécanicien indique par un repère la position de ce joint plein et il en prend note sur un cahier destiné à rester entre les mains de ses successeurs.

Machine. Les différents organes de la machine sont visités, nettoyés avec soin puis remontés.

Les bouchons et les plateaux des cylindres, ainsi que les portes des tiroirs, des bâches, et des condenseurs ont leurs joints faits à blanc, avec une garniture de toile huilée et parfois même, on conserve ces récipients ouverts afin de faciliter l'entretien intérieur.

Toutes les garnitures en chanvre et en coton des presse-étoupe et des pistons des différentes pompes, sont enlevées et remplacées par des tresses en coton huilées. Ces garnitures provisoires ne sont pas serrées.

Les garnitures ainsi enlevées sont étiquetées après avoir été complétées, s'il y a lieu, et sont conservées en magasin.

Les clapets en caoutchouc sont démontés et conservés à l'abri de la chaleur et de la lumière; une instruction ministérielle récente, enjoint de les placer dans une caisse en tôle zinguée contenant de l'eau que l'on changera tous les quinze jours.

L'intérieur des bâches et des condenseurs (si ces derniers sont à mélange) sont grattés avec soin, puis peints au minium. Si les condenseurs sont à surface, les tubes sont sortis, nettoyés avec soin, puis remontés.

Un des joints de chaque tuyau d'injection ou de prise d'eau des pompes de circulation est démonté, afin que les suintements d'eau puissent s'écouler dans la cale. Les mêmes précautions sont prises à l'égard de tous les tuyaux susceptibles de laisser pénétrer l'eau dans une partie quelconque de la machine. Tous les autres tuyaux restent complétement montés après avoir été asséchés.

Si les tuyaux de décharge débouchent au-dessus de la flottaison, ces tuyaux sont tamponnés extérieurement puis calfafés, la même mesure est prise à l'égard des tuyaux de décharge accidentelle et des tuyaux de refoulement des pompes de cale.

Si les tuyaux de décharge débouchent au-dessous de la flottaison, comme cela a lieu dans la plupart des machines, on prend toute les précautions possibles pour empêcher les suintements et prévenir l'introduction de l'eau dans les bâches.

Tous les coussinets, les articulations, les divers joints de la ligne d'arbre sont démontés, visités, huilés, puis remontés.

Le résultat de ces différentes visites doit être consigné sur le journal et sur le registre descriptif de la machine.

Toutes les opérations ci-dessus indiquées ayant été effectuées, et tous les organes ayant été mis en bon état, la machine est placée dans la position dite de réserve, et il ne reste plus dès lors qu'à l'entretenir dans cette position.

A cet effet: les cylindres sont visités tous les six mois et maintenus asséchés et huilés. Les garnitures métalliques des pistons sont démontées aux mêmes époques, huilées et remises en place. Il en est de même des tiroirs de distribution et des organes de détente.

Toutes les pièces polies de la machine, les articulations, les coussinets, les ressorts et les filets des écrous susceptibles d'être démontés sont entretenus à l'huile. Les joues des divers coussinets et celles des colliers d'excentriques sont garnis de petites tresses légèrement huilées, afin d'empêcher l'introduction de corps étrangers. Pour le même motif, les lumières de graissage sont tamponnées, soit avec un petit bouchon de bois ou de métal, soit avec du coton.

Les hélices restent en place; sur les bâtiments qui ont un puits, l'hélice doit être hissée, puis amenée au moins une fois tous les quatre mois.

Tous les huit jours au moins, la machine est mise en mouvement à l'aide du vireur, puis arrêtée après avoir fait un quart de tour environ, en ayant soin que les mêmes portages ne se reproduisent pas. Une fois par mois on fait faire à la machine, un peu plus d'un tour complet.

Les parties intérieures et cachées de la machine doivent être visitées successivement, de telle sorte que la visite complète de l'appareil ait eu lieu dans l'espace de six mois.

Suivre par ailleurs les instructions données aux n°s 181 et 182 du G^d. *Traité*, notamment en ce qui concerne l'entretien de la peinture, du calfatage au-dessus de la machine et des chaudières, et la propreté des cales.

Les différentes machines auxiliaires doivent naturellement être traitées de la même manière que la machine principale, les visites successives des différents organes de ces machines doivent être faites de manière que la visite complète ait eu lieu dans six mois.

N° 79_5 Entretien des condenseurs à surface et soins à donner à ces appareils et à leurs accessoires sur les bâtiments en réserve et désarmés. — De la propreté des tubes des condenseurs à surface, dépend un meilleur rendement de la machine et une plus longue durée des chaudières et des différentes parties du condenseur. Nous savons en effet (n° $49_{2,4,5}$) que la conductibilité diminue rapidement avec l'accroissement de l'épaisseur des dépôts graisseux qui se forment sur les tubes. De plus, l'accumulation des corps gras dans le condenseur produit, à la longue, la détérioration et l'usure des tubes, en même temps qu'elle est susceptible de paralyser le fonctionnement des clapets et même de décomposer ces derniers qui sont tous en caoutchouc. Il y a par suite, un grand intérêt à maintenir propre l'intérieur des condenseurs.

Dans les premières machines munies de condenseurs à surface, le graissage des cylindres se faisait au suif; mais actuellement, le suif est supprimé, et l'huile seule est employée.

Quel que soit le corps gras qui recouvre les tubes, il est nécessaire de procéder au nettoyage intérieur des condenseurs aussi souvent que le permettent les circonstances de la navigation. Nous avons indiqué au n° 75_1, les divers moyens mis en usage pour effectuer ces nettoyages en cours de navigation.

Lors d'un désarmement complet ou lors de la mise en réserve d'un bâtiment pourvu de condenseurs à surface, il conviendra d'effectuer à fond le nettoyage intérieur de ces appareils. A cet effet, après avoir procédé au nettoyage à la vapeur comme il est dit au n° 75_2, qui permet d'extraire la plus grande partie des graisses, on sortira successivement les tubes, en procédant par rangées verticales, de manière qu'un homme puisse s'introduire pour nettoyer les faces latérales intérieures et les plaques de tête, en même temps que l'on nettoyera parfaitement, tant intérieurement qu'extérieurement, tous les tubes enlevés.

Dans ce nettoyage, il faudra prendre la précaution de ne pas enlever l'étain; on emploiera avec avantage, des brosses trempées dans une dissolution de potasse; puis après ce lavage les tubes seront passés dans de l'eau douce. Pour faciliter le remontage, il conviendra de repérer les tubes avec les plaques de tête avant d'en effectuer le démontage.

Le nettoyage à fond, dont nous venons de parler, n'ayant besoin d'être effectué qu'une fois pour toutes, pendant le temps que le bâtiment restera en réserve ou désarmé, les tubes pourront être remontés d'une façon définitive après leur nettoyage, mais en s'abstenant de refaire les joints des tubes avec les plaques de tête principalement si ces joints sont faits au moyen de plaques en caout-

chouc, comme sur les *fig.* 18 et 19, *pl.* VI. Si l'étanchéité des tubes est obtenue au moyen de petits presse-étoupe, comme sur les *fig.* 16 et 17 de la même *planche*, on pourra refaire ces presse-étoupe au fur et à mesure du remontage, car leur confection nécessiterait un temps très-long qui pourrait retarder l'armement. Les plaques de caoutchouc sont conservées de la même manière que les clapets des diverses pompes (n° $79_{1\ et\ 2}$).

Les bâches à eau douce, celles à eau salée et les coquilles sont asséchées, grattées puis peintes au minium ou au gris de zinc.

Si les pompes de circulation sont des pompes ordinaires mues par la machine, elles présentent dans ce cas les mêmes dispositions que les pompes à air, et sont traitées de la même manière (n° $79_{1\ et\ 2}$) que ces dernières.

Si les pompes de circulation sont des pompes centrifuges, elles sont démontées, visitées, asséchées, puis remontées, avec les joints faits à blanc pour faciliter l'entretien intérieur.

N° 80. — 1. Modifications apportées aux appareils à plongeur. — 2. Combustion spontanée du charbon dans les soutes. — 3. Appareils divers pour combattre l'incendie.

N° 80_1 Modifications apportées aux appareils à plongeur. — L'appareil à plongeur du système *Rouquayrol-Denayrouze*, dont la description est donnée d'une manière complète au n° 183_2 du *G^d Traité*, a subi depuis quelque temps des modifications qui ont beaucoup contribué à étendre l'emploi de ce système de scaphandre. Les modifications les plus importantes consistent dans la suppression du pince-nez et du ferme-bouche, et dans l'adoption d'un appareil acoustique permettant de converser de la surface avec le plongeur.

Le vêtement actuel des scaphandres *Rouquayrol-Denayrouze* diffère peu de celui employé par *M. Cabirol* (n° 183_1 du *G^d. Traité*). Il se compose de deux épaisseurs de toile entre lesquelles se trouve logée une épaisseur de caoutchouc en feuille; les parties les plus susceptibles de s'user telles que les pieds, les coudes, l'entre-jambes, les genoux et les aisselles sont renforcées d'une épaisseur de même étoffe, qui se trouve double en tous ces points. Le tissu extérieur a été croisé de manière à résister plus longtemps.

Le casque, dont le volume est à peu près celui du casque *Cabirol*, est moins haut et plus large que ce dernier, ce qui donne une plus grande aisance aux mouvements de la tête du plongeur; de plus, les verres du nouveau casque sont tous ronds, plats et de grande dimension; leur épaisseur est de 12^{mm}, et le verre supérieur seul est protégé par un grillage mobile. Il a été reconnu en effet, que ce dernier verre était le seul réellement exposé à des chocs assez violents pour en déterminer la rupture, et que le grillage empêchait parfois le plongeur de bien distinguer les objets.

La jonction du vêtement avec le casque ne comporte qu'un seul joint. La collerette en caoutchouc formée par le rebord supérieur du costume, se trouve fortement pressée par quatre boulons, entre deux brides à surface plane du casque et de la pélerine; les faces en regard de ces brides sont garnies de rondelles en caoutchouc d'un centimètre d'épaisseur, et c'est entre ces dernières que vient se loger la collerette du vêtement.

La soupape de sortie d'air est disposée de la même façon que celle des scaphandres *Cabirol*, mais elle offre cette particularité que le prolongement de sa tige traverse la paroi intérieure du casque et permet au plongeur de l'ouvrir en appuyant légèrement avec sa tête, pour le cas où il se sentirait gêné par l'excès d'air. La facilité de manœuvre de cette soupape avec la tête, constitue un véritable progrès, car le plongeur ne se trouve pas dans l'obligation d'interrompre son travail pour manœuvrer cet organe.

Dans les premiers appareils *Rouquayrol-Denayrouze*, le plongeur portait sur le dos un réservoir d'air, en forte tôle, dans lequel venaient aboutir les tuyaux de refoulement d'air de la pompe. Cet appareil, dont la description est d'ailleurs donnée au n° 183$_3$ du *G^d. Traité*, était encombrant et gênait beaucoup les mouvements du plongeur. Dans le nouvel appareil de ces constructeurs, le réservoir d'air est conservé dans le voisinage de la pompe avec laquelle il communique par deux tuyaux en caoutchouc servant au refoulement de l'air. Le réservoir d'air se compose d'une boîte cylindrique en forte tôle, essayé à 12 atmosphères; il porte à sa partie supérieure un manomètre, gradué en mètres d'eau, qui sert à régler l'allure de la pompe d'après la profondeur à laquelle travaille le plongeur. Un robinet purgeur est placé à la partie inférieure pour l'évacuation de l'eau qui a pu être entraînée pendant le fonctionnement de la pompe. Chacune des deux tubulures qui donnent accès à l'air refoulé par la pompe, est munie d'un clapet qui a pour but de s'opposer à la sortie de l'air du réservoir, dans le cas d'une rupture des tuyaux ou d'un arrêt momentané de la pompe.

La nouvelle pompe diffère très-peu de celle employée avec les anciens appareils des mêmes constructeurs. Elle se compose de deux cylindres mobiles dont les pistons sont pourvus de garnitures en cuir qui font joint hydraulique; ces pistons portent, à leur centre, une soupape d'aspiration d'air s'ouvrant de dessous en dessus. Dans les anciennes pompes (*fig.* 246 *du G^d. Traité*), chacun des cylindres portait à sa partie supérieure une bâche d'air, avec tubulure pour le tuyau de refoulement; sur les nouvelles pompes, ces bâches ont été supprimées et remplacées par une petite boîte en bronze de forme cylindrique, dans laquelle se trouve un clapet de refoulement. La course de ce clapet est limitée par une vis faisant office de butoir, et vers son sommet se trouve une tubulure où se fixe le tuyau conduisant l'air refoulé dans le réservoir.

D'un autre côté, chaque cylindre porte, à sa partie supérieure, un godet à robinet destiné à introduire de l'eau au-dessus des pistons, lorsque la pompe est mise en action.

Les souliers sont comme ceux employés avec tous les autres genres de scaphandres, c'est-à-dire en cuir très-fort avec semelles en plomb; mais afin de préserver le bout du soulier, cette partie est recouverte, dans les nouveaux appareils, par

un sabot en bronze qui la protége sur une longueur d'environ 10 centimètres.

L'appareil acoustique, dont est actuellement pourvu le nouveau scaphandre *Rouquayrol-Denayrouse*, comporte les parties suivantes :

1° Un tube acoustique en caoutchouc avec garniture métallique en hélice dans l'intérieur ; l'une des extrémités de ce tube porte un pavillon comme dans les porte-voix ordinaires, et l'autre un raccord qui vient se visser sur une petite tubulure placée au sommet du casque.

2° Une plaque métallique de 1^{mm} d'épaisseur et d'environ 5 décimètres carrés de surface, rivée et soudée à l'intérieur du casque, en regard de la tubulure sur laquelle se visse le tube acoustique. Le but de cette plaque est de répercuter par ses vibrations, les sons produits à l'extrémité libre du tube, et aussi d'isoler complétement l'intérieur du casque, afin d'empêcher l'air refoulé dans le vêtement de s'échapper par ce tube.

Il est indispensable de prendre certaines précautions pour se faire entendre distinctement du plongeur, car le bourdonnement occasionné par l'arrivée et la sortie de l'air du vêtement, empêche le plongeur de percevoir les sons répercutés par la plaque métallique. Lorsqu'on veut adresser une question au plongeur, la personne placée à la surface et qui tient à la main l'embouchure du porte-voix, ainsi que la corde des signaux, l'informe, à l'aide d'un signal convenu fait au moyen de cette dernière corde, qu'elle va lui adresser la parole. Dès que le plongeur a répondu par un signal conventionnel qu'il a compris cette demande, on fait momentanément arrêter la manœuvre de la pompe, ou du moins, on fait pomper plus lentement, en même temps que le plongeur de son côté comprime le ressort de la soupape d'échappement d'air. Ces manœuvres ont pour but de faire cesser, pendant un moment, le bourdonnement occasionné par la sortie de l'air.

Pour parler dans le porte-voix, il faut maintenir la bouche à quelques centimètres de l'embouchure et articuler très-distinctement, et d'une voix d'autant plus forte que le plongeur est plus profondément immergé. A une profondeur de 12 à 15 mètres, le plongeur perçoit assez distinctement les paroles qui lui sont adressées, s'il a pris les précautions ci-dessus indiquées, mais les sons deviennent moins intelligibles à mesure que la profondeur augmente.

De son côté, il suffit au plongeur de parler distinctement, d'une voix forte et en accentuant chaque syllabe, pour que la personne placée à la surface, perçoive les réponses en appliquant l'oreille à l'embouchure du porte-voix. Les paroles du plongeur s'entendent très-bien même à une profondeur supérieure à 15 mètres.

L'appareil acoustique est appelé à rendre de très-grands services, d'autant plus que cet appareil peut presque toujours être employé dans les travaux que les marins peuvent avoir à exécuter. — Les signaux conventionnels dont on a fait usage jusqu'à ces derniers temps sont en très-petit nombre ; et le plongeur est, la plupart du temps, obligé de remonter à la surface soit pour prendre un outil, soit pour donner des explications sur ce qu'il a vu et prendre des ordres pour l'exécution des travaux à exécuter ; ce qui fait perdre un temps considérable. Le porte-voix rémédie à cet inconvénient. Son installation est d'ailleurs possible, quelque soit le système de scaphandre.

Relativement aux soins à prendre pour la conservation de l'appareil, il convient de suivre les instructions ci-dessous :

Lorsqu'on a fini de se servir du scaphandre, on dévisse tous les tuyaux et on les fait sécher à l'ombre dans un lieu aéré avant de les ramasser. Le vêtement proprement dit doit être traité de la même manière; il serait bon d'ailleurs, si l'appareil a servi dans l'eau de mer, de le passer préalablement à l'eau douce avant de le mettre au sec. — Les objets en caoutchouc doivent être ramassés dans un lieu sec et aéré et dont la température ne soit jamais trop élevée, car le caoutchouc se détériore à la chaleur.

Si le vêtement s'est durci, comme cela arrive fréquemment lorsqu'il reste longtemps sans être employé, il convient de lui rendre sa souplesse avant d'en faire usage, en le plaçant dans un milieu dont la température soit de 40° à 50°, ou en le plongeant dans de l'eau portée à cette température.

Les vêtements de laine ne doivent également être ramassés que lorsqu'ils sont bien secs, il est bon d'ailleurs de les exposer à l'air de temps en temps en profitant naturellement d'un beau jour pour cette exposition.

Quant à la pompe, il sera nécessaire de la démonter et de l'essuyer dès qu'on aura fini de s'en servir; les pièces en bronze seront essuyées à sec et celles en fer ou en acier seront conservées légèrement huilées. Les cuirs des pistons seront graissés de temps en temps à l'huile de poisson de façon à leur conserver leur souplesse. Si, au moment de s'en servir, les cuirs des pistons étaient trop durs, on les ramollirait en les démontant et en les frottant soit avec du suif propre soit avec de l'huile de poisson.

N° 80, Combustions spontanées du charbon dans les soutes. — Les causes des combustions spontanées sont attribuées au développement de chaleur qui se produit, par le fait des modifications chimiques qu'éprouvent certaines substances contenues dans le charbon, sous l'influence de l'oxygène de l'air. Les pyrites de fer et de cuivre sont celles de ces substances qui sont les plus connues. L'oxydation de ces pyrites par le fait de l'humidité, peut donner lieu à un dégagement de chaleur assez intense pour produire l'ignition.

D'autre part, les charbons friables laissent échapper dans la soute, en se brisant, un gaz hydrogène carboné, qui diffère peu du gaz d'éclairage et qui est susceptible de s'enflammer à l'approche d'une lumière. — De leur côté, les charbons peu friables, mais très-poreux, ont la propriété d'absorber un grand volume d'oxygène, ce qui occasionne un dégagement de chaleur d'autant plus grand que la quantité de ce gaz absorbé est plus considérable. L'oxydation s'accélérant à mesure que la chaleur s'accumule, l'action chimique agit si énergiquement que le charbon peut s'échauffer au point d'entrer en ignition.

Le bris du charbon pendant son embarquement et son arrimage, favorise également l'absorption de l'oxygène et augmente naturellement la tendance à l'échauffement.

Les statistiques enregistrent chaque année, un nombre considérable d'incen-

dies survenus sur les navires, et principalement sur les bâtiments à vapeur ou sur les bâtiments à voiles chargés de charbon. Ces incendies prennent habituellement naissance dans la masse du charbon, ils sont beaucoup plus fréquents dans les parages des tropiques que dans les pays froids ou tempérés. Les chances de combustions spontanées croissent avec la durée du séjour du charbon à bord et avec son état de division; en d'autres termes, plus le charbon est menu plus il est susceptible d'entrer en ignition; elles croissent également avec l'état d'humidité lors de l'embarquement.

Certains ingénieurs conseillent d'aérer fréquemment les soutes en y établissant un courant d'air par des temps secs. Mais il a été reconnu que dans les pays chauds, une ventilation même énergique, est insuffisante pour empêcher d'une manière complète l'échauffement dans la masse d'un charbon réduit en poussière, car cette ventilation ne peut avoir un effet de refroidissement suffisant. La circulation ne peut être que bien faible dans la masse d'un charbon menu, et le développement de la chaleur serait encore favorisé par le supplément d'oxygène amené par la ventilation.

Diverses commissions constituées en Angleterre, pour étudier les moyens propres à conjurer les accidents qui nous occupent, sont opposées à la ventilation des soutes ou des cales remplies de charbon. L'expérience semble prouver, en effet, que plus les soutes à charbon ou les cales de chargement sont ventilées, et plus les combustions spontanées sont fréquentes.

L'aération des soutes par le haut, mais sans courant d'air, favorise le dégagement du grisou (n° 199_2 du *G^d Traité*); ce procédé peut être employé dans le cas où le charbon est embarqué directement au sortir de la mine, avant qu'il ait eu le temps de se débarrasser de ce gaz. On évite ainsi les explosions qui se produisent parfois dans les soutes, et qui proviennent de l'inflammation du gaz hydrogène carboné qui se dégage du charbon et se mélange avec l'air.

Nous avons indiqué au n° 199_3 du *G^d Traité*, les moyens à employer pour prévenir et combattre les combustions spontanées.

N° 80_2 Appareils divers pour combattre l'incendie. — Outre les moyens indiqués au n° 199_3 du *G^d Traité*, plusieurs ingénieurs ont récemment proposé, et fait accepter divers appareils propres à éteindre les incendies. La plupart de ces appareils sont basés sur le même principe, lequel consiste à chasser l'air du foyer d'incendie ou du moins à en empêcher le renouvellement, et à remplacer ce gaz par de l'acide carbonique. Nous allons examiner succinctement, parmi les divers appareils proposés, ceux qui nous semblent le plus recommandables.

M. *Daniel J. Howes* a imaginé un appareil propre non-seulement à éteindre les incendies déclarés à bord, mais encore à découvrir tout foyer d'incendie prêt à se développer. — Cet appareil se compose d'un système de tubes ouverts à leurs extrémités et rayonnant dans les diverses parties du bâtiment, notamment dans les soutes et les cales de chargement. Cet appareil tubulaire est relié à une machine soufflante qui, en temps ordinaire, sert à la ventilation en expulsant l'air chaud et les gaz dangereux capables d'occasionner des combustions spontanées. Cette machine soufflante communique avec un réservoir

en forte tôle contenant de l'acide carbonique fortement comprimé. Si un foyer de combustion existe en un point quelconque du parcours de l'appareil tubulaire, l'air aspiré par la machine soufflante répand une odeur de fumée qui donne l'éveil, et avec un peu d'attention on ne tarde pas à découvrir le point attaqué. En général, un incendie ne se déclare pas tout de suite avec une grande intensité, et s'il est pris à ses débuts, les conséquences ne sont pas graves; aussi l'appareil de M. *Daniel J. Howes* ne fournirait-il que ce seul résultat, qu'il n'en constituerait pas moins un appareil précieux.

Dès qu'on reconnaît un commencement d'incendie, la communication entre la machine soufflante et le réservoir d'acide carbonique doit être établi, en même temps que l'expulsion de l'air est arrêtée ; puis on ferme toutes les issues pouvant donner accès à l'air dans le lieu attaqué, et l'action de la machine est employée à refouler de l'acide carbonique dans cet endroit. L'air cessant de fournir son oxygène et le milieu se remplissant d'acide carbonique, l'incendie ne tarde pas à s'éteindre.

MM. *Carlier*, docteur médecin, et *Claude Vignon*, général du génie, se sont fait breveter en 1862 pour un extincteur basé sur le même principe que le précédent.

Ainsi que nous l'avons dit précédemment, l'incendie ne se déclare généralement que sur une très-petite échelle, et il ne se développe le plus ordinairement que parce que l'on n'a pas immédiatement sous la main les moyens propres à l'éteindre, ou parce que le lieu où il a pris naissance n'est pas facilement accessible eu égard aux appareils dont on dispose.

Dans le but de remédier à ce grave inconvénient, MM. *Carlier* et *Vignon* ont imaginé de condenser de l'acide carbonique dans l'eau en la comprimant à une forte pression. Or, l'eau absorbe 1,5 de son volume d'acide carbonique par atmosphère, on conçoit alors que si l'on projette cette eau sur le théâtre de l'incendie, l'acide carbonique se dégage et prend la place de l'air, en même temps que l'eau refroidit le corps en combustion. Par le fait de ces deux effets combinés, l'incendie est promptement éteint.

Afin d'éviter la déperdition du gaz, lorsque les appareils restent longtemps chargés, l'acide carbonique comprimé est mis dans un vase distinct de celui qui contient l'eau, et l'ouverture d'un robinet permet de mettre, au moment voulu, les deux substances en contact. Une manche à incendie est vissée sur une tubulure portée par le vase contenant l'eau ; et lors de l'ouverture du robinet placé entre les deux récipients, l'acide carbonique se dégage spontanément en se détendant, traverse le liquide, se mélange avec lui et se trouve projeté sur le foyer d'incendie par la pression qui existe dans le vase où il a été comprimé.

Le lieutenant américain *Barber* propose le moyen suivant pour combattre les incendies à bord : Établir dans un endroit convenable du bâtiment un ou plusieurs récipients de $0^m,90$ à 1 mètre de long sur $0^m,30$ de large, d'une contenance de 44 à 50 kilog. d'*acide carbonique* à l'état *liquide*. Faire partir, du sommet des récipients, un tuyau en fer courant dans toute la longueur du navire; faire embrancher sur ce tuyau principal, à angle droit et à des distances déterminées par les aménagements du navire, d'autres tuyaux dont les extré-

mités viendront aboutir au fond des diverses soutes ou des cales. Placer un robinet sur le tuyau principal et sur chacun des embranchements, de façon à pouvoir établir la communication de n'importe quel endroit avec le récipient d'acide carbonique — Il est bien entendu que les appareils de manœuvre des robinets des tuyaux spéciaux doivent être placés dans un lieu bien accessible, sur le pont par exemple.

Les choses étant ainsi disposées, si l'on a le feu à bord, dans une partie quelconque du navire, il suffira, pour l'éteindre, d'ouvrir le robinet du récipient et celui du tuyau correspondant au lieu où le danger est signalé, en même temps qu'on fermera les écoutilles, et toutes les autres ouvertures de l'endroit où règne le feu. L'acide carbonique qui a été soumis à une très-forte pression pour se liquéfier, se détend pour remplir les tuyaux à l'état gazeux, et à cause de sa densité (1,5 par rapport à l'air), il tombe au fond de la soute et la remplit en commençant par le bas, sans se mêler à l'air qui s'échappe dans le haut par les fissures qui existent toujours malgré la fermeture des écoutilles. D'ailleurs, l'oxygène de l'air emprisonné serait bientôt absorbé par la combustion et transformé à son tour en acide carbonique. Ce dernier gaz ne pouvant entretenir la combustion, le feu s'éteindrait.

Moyens de faire couler le bâtiment. — A la suite de la terrible catastrophe du *Magenta*, où le feu s'est déclaré subitement, et s'est surtout propagé d'une manière très-rapide, des ordres ministériels ont prescrit de pourvoir tous les navires de guerre d'une disposition permettant de couler le bâtiment en peu de temps, pour le cas où l'incendie prendrait spontanément, comme sur le *Magenta*, des proportions telles, que les moyens dont on dispose seraient impuissants pour s'en rendre maître.

La disposition qui a été généralement adoptée sur les cuirassés consiste dans l'application, sur les tuyaux d'injection ou sur les tuyaux d'aspiration des pompes de circulation, d'une forte tubulure munie d'un gros robinet débouchant dans la cale. Les dimensions de cette tubulure et du robinet sont les mêmes que celles de la prise d'eau sur laquelle ils sont appliqués. Le robinet débouchant dans la cale n'étant appelé à servir que dans le cas extrême où il y aurait nécessité de faire couler le navire, est muni d'une forte bride de sûreté à laquelle la clef doit être amarrée pour prévenir tout mécompte.

Dans le cas où le commandant donnerait l'ordre de couler le navire, il suffirait d'ouvrir simultanément les prises d'eau d'injection, ou d'aspiration de la pompe de circulation (suivant le cas), et le gros robinet dont il vient d'être parlé. D'après le nombre, la section des robinets et le tonnage des navires de guerre, vingt à vingt-cinq minutes suffiraient pour faire couler un bâtiment.

Appareil respiratoire Galibert. — L'appareil respiratoire *Galibert* est destiné à fournir pendant un temps notable, et sans le secours d'aucune pompe, de l'air à un homme engagé dans un milieu asphyxiant. Cet appareil a une grande analogie avec l'appareil respiratoire *Rouquayrol-Denayrouze* dont la description est donnée au n° 183_2 du G^d^ *Traité;* mais il est beaucoup moins compliqué, moins lourd, moins coûteux, et surtout, il peut être disposé à servir dans un temps très-court.

Fig. 29, Pl. VIII. L'appareil *Galibert* est représenté par la *fig.* 29, *pl* VIII. Il se compose d'un réservoir A (d'une contenance de 110 litres environ), formé de deux épaisseurs de toile entre lesquelles se trouve logée une épaisseur de caoutchouc en feuille. Ce réservoir est rempli d'air au moyen d'un grand soufflet à main dans le genre de ceux employés par les bouchers, et une minute suffit pour en faire le plein.

Le réservoir A est porté sur le dos de l'opérateur au moyen de deux bretelles 1 et fixé de plus à la taille par la ceinture 2; cette ceinture sert en même temps de ceinture de sauvetage. Deux tubes en caoutchouc *a* et *b* partant du réservoir, aboutissent à une pièce en corne que l'opérateur maintient dans la bouche par une légère pression des dents et une fermeture complète des lèvres. Un pince-nez oblige l'opérateur à ne respirer que par la bouche; cette opération doit se faire le plus lentement possible.

A l'aspiration, l'air arrive du réservoir par les deux tubes *a* et *b* et y retourne par les mêmes tubes lors de l'expiration. L'un des tubes *a*, part du sommet du réservoir; l'autre *b*, descend un peu plus bas que le milieu de la hauteur de ce même réservoir. Il résulte de cette disposition, que l'air aspiré vient plus naturellement par le tube *a*, et que l'acide carbonique rejeté à l'expiration doit suivre le tube *b*.

Les choses doivent en effet se passer de cette façon, si les mouvements d'aspiration et d'expiration sont très-lents. — Il résulte des nombreuses expériences faites, que les 110 litres d'air emmagasinés dans le réservoir A, suffisent à la respiration d'un homme ordinaire pendant 20 minutes au moins. C'est plus qu'il n'en faut dans la plupart des cas, pour retirer une personne de danger, soit dans un puits, soit dans une fosse, soit dans un milieu asphyxiant quelconque, voire même dans un incendie. Cet appareil serait d'une utilité incontestable en marine en cas d'incendie, surtout pour aller ouvrir les prises d'eau des soutes à poudre, au cas où l'incendie prendrait naissance dans le voisinage de ces soutes.

Il existe comme accessoires de l'appareil : 1° des lunettes pour préserver les yeux de la fumée et des gaz délétères; — 2° une corde de sauvetage en ligne blanche de 10 millimètres, amarrée par l'une de ses extrémités à une boucle en fer fixée sur la ceinture en cuir 2, et passant dans un anneau porté par l'une des bretelles; l'autre bout de la corde est conservé dans la main d'un homme qui se trouve ainsi en communication avec l'opérateur et qui est prêt à lui porter secours en cas d'accident; — 3° un sifflet d'appel; — 4° une boîte en fer-blanc pour contenir l'appareil.

Ajoutons avant de terminer, que l'opérateur peut être revêtu comme dans le scaphandre, d'un vêtement imperméable mettant le corps complétement à l'abri. Si en outre il y a lieu de redouter la chute de certains corps pouvant atteindre l'opérateur, comme cela est susceptible de se produire dans un incendie, il sera prudent de le coiffer d'un casque comme ceux des pompiers.

CHAPITRE VII.

AVARIES ET RÉPARATIONS.

CHAP. VII, § 1er. — AVARIES ET RÉPARATIONS DES CHAUDIÈRES.

N° 81. — 1. Explosions; leurs causes habituelles; moyens de les prévenir. — 2. Nouveaux types de soupapes de sûreté. — 3. Coups de feu dus aux dépôts graisseux.

N° 81, Explosions; leurs causes habituelles. — De nombreuses enquêtes ont été faites tant en France qu'en Angleterre, sur les causes des explosions des chaudières. Mais les personnes près desquelles on pourrait se renseigner sont le plus ordinairement les premières victimes; où, si elles échappent à la mort, elles ont un intérêt marqué à cacher la cause réelle de l'accident, et à soutenir que tout était en parfait état au moment de l'explosion. Il en résulte que dans bien des cas, les commissions se trouvent réduites à juger sur des hypothèses et non sur des faits réels.

En 1871, des expériences très-intéressantes sur les explosions ont été faites en Amérique sous la direction de M. *Francis B. Stevens*, et sous le patronage du gouvernement des Etats-Unis.

On a fait éclater diverses chaudières ayant déjà un long usage, en continuant de les chauffer après avoir condamné leurs soupapes de sûreté. Voici les conclusions de ces expériences :

1° L'explosion par élévation graduelle de pression peut être aussi désastreuse qu'une explosion foudroyante, même avec une chaudière inégalement reliée, toutes les parties ayant une égale résistance ou à peu près.

2° On ne doit jamais perdre de vue la pression, et surveiller attentivement le fonctionnement des soupapes de sûreté.

3° La partie la plus faible des tirants d'une chaudière se trouve au point d'attache avec les patins.

4° Le gondolement des tôles entre les entretoises peut être suffisant pour que les boulons taraudés soient décapelés sans arrachement des filets; la rivure supporte alors seule tout l'effort.

5° Une chaudière cylindrique ne peut jamais éclater par un accroissement graduel de pression, sans prévenir à l'avance qu'elle supporte une pression exagérée.

6° Les enveloppes cylindriques ne sont pas dangereuses; les faces planes renforcées par des tirants sont celles dont on a le plus à craindre.

Des phénoménes qui se sont produits dans ces expériences, on a cru devoir conclure, en outre, qu'il faut écarter des causes d'explosions, la plupart des hypothèses faites jusqu'à ce jour, telles que formation subite d'une grande quantité de vapeur (n° 198_1 du *G^d Traité*), production de gaz détonnant, phénomènes électriques, etc., etc. En d'autres termes, les explosions seraient dues uniquement à l'excès de pression de la vapeur sur la résistance de la tôle, soit qu'il y ait élévation progressive de cette pression, les soupapes de sûreté étant paralysées, soit que la pression restant dans les limites voulues, certaines parties des parois aient perdu de leur résistance.

Ces conclusions ne peuvent être acceptées que sous bénéfice d'inventaire. En effet, sauf un seul cas dont il sera question, toutes les chaudières que l'on a fait éclater étaient soumises à une pression croissant graduellement, sans qu'il y ait dépense de vapeur. Il n'y avait, par suite, aucune de ces vibrations produites par les variations inévitables de pression dues à l'introduction intermittente des cylindres, à la manœuvre des soupapes d'arrêt et des soupapes de sûreté, aux chocs resultant du fonctionnement de l'appareil moteur, aux variations d'activité des feux. En un mot, les chaudières soumises aux expériences n'étaient nullement dans les conditions ordinaires des chaudières fonctionnant sur un bâtiment.

Il est certain que si l'on continue de chauffer une chaudière complétement fermée, on arrivera fatalement à la rupture, quelle que soit la résistance des parois. Si toutes les parties du générateur présentent sensiblement la même résistance, la chaudière cédera partout à la fois et il y aura explosion fulminante, c'est-à-dire que les débris de la chaudière seront projetés au loin. Mais si quelques parties du générateur sont notablement plus faibles que les autres, ce qui se présente forcément au bout d'un certain temps de service, en *pratique*, ces parties céderont les premières, avant que la pression ait atteint, pour les autres, la limite de résistance, et il se produira des déchirures dans les parties faibles. Ces déchirures pourront d'ailleurs s'étendre sur les parties voisines, quoique plus résistantes, parce que ces parties sont soumises à un effort plus considérable au moment où cèdent les parties faibles; la propagation de la déchirure est d'ailleurs favorisée par les vibrations résultant de l'échappement de la vapeur par l'ouverture déjà formée.

Quand les feux sont en pleine activité, et que l'on ne dépense pas la vapeur produite, il suffit de quelques minutes, 10 à 12 au plus, pour que la pression s'élève au point de dépasser la charge d'épreuve. Dans ce cas, l'explosion peut

avoir lieu, et même avant que la charge d'épreuve soit atteinte, s'il se produit des vibrations, comme celles que déterminent l'ouverture brusque de la soupape de sûreté ou une mise en marche précipitée. Bien plus, notre expérience personnelle nous permet d'affirmer que l'influence des vibrations dont il s'agit est telle, que ces vibrations peuvent occasionner la rupture des parties les plus faibles d'une chaudière un peu usée, même à une pression inférieure à celle du régime de marche.

La rapidité avec laquelle la pression s'élève lorsqu'on ne dépense pas la vapeur, les feux étant en pleine activité, montre que la surveillance du mécanicien doit être incessante. Il doit non-seulement modérer l'activité des feux dès que la machine est stoppée, mais encore, ouvrir légèrement les soupapes de sûreté afin d'être immédiatement prévenu du fonctionnement ou du non-fonctionnement de ces organes. Dans ce dernier cas, il a encore le temps d'agir ainsi qu'il est expliqué au n° 197_3 du *Gd Traité*, pour prévenir l'accident.

Il semblerait résulter des expériences faites en Amérique, que si on laisse certaines parties des surfaces de chauffe à découvert au point de rougir, puis, qu'en alimentant pour rétablir le niveau, on amène l'eau sur ces surfaces, les dangers d'explosion ne sont pas plus grands que lors d'un accroissement progressif de la pression. Telle serait du moins la conclusion formulée par la commission, à la suite d'une expérience dans laquelle on n'a pas réussi à faire éclater une chaudière *déjà vieille*, en amenant de l'eau en contact avec les tôles rouges. Ces parties s'étaient violemment contractées au contact de l'eau en produisant seulement des fuites locales.

Nous ne saurions partager cette manière de voir, et les résultats des expériences dont il s'agit ne nous paraissent nullement concluants.

Il ne faut pas perdre de vue en effet, que dans ce cas, l'explosion ne résulte pas de la valeur absolue de l'accroissement de pression, mais du choc qui est produit par l'instantanéité de la vaporisation (n° 198_1 du *Gd Traité*). Si dans l'exemple cité, la chaudière n'a pas éclaté, mais s'est seulement déchirée en certains endroits, cela tient au peu de résistance qu'avaient ces parties. Les déchirures ont dû d'ailleurs être produites par les contractions, même avant qu'il y ait eu un accroissement bien marqué de la pression. — Les dangers résultant d'une dénivellation de l'eau des chaudières n'en existent pas moins, *et il serait dangereux de faire partager par les mécaniciens, les idées de la commission à ce sujet.*

Quand les chaudières sont un peu vieilles, comme dans l'essai dont il vient d'être question, elles peuvent présenter des points notablement plus faibles que tous les autres, et la rupture peut avoir lieu en ces points, *même à la pression de régime*, et cela, sans que les autres parties du générateur aient le moindre-

ment à souffrir. L'avarie est alors toute locale, mais ne laisse pas que de présenter de grands dangers, surtout à bord d'un bâtiment où le personnel est nombreux, et se trouve massé dans un espace relativement restreint.

Les parties des chaudières qui s'usent le plus rapidement et qui par suite demandent à être surveillées avec le plus d'attention, sont : 1° celles contre lesquelles frottent les gaz de la combustion, et qui sont situées à la hauteur du coffre à vapeur, telles que les tôles des culottes de cheminée et les sécheurs, là où il en existe. 2° Les fonds des chaudières, là où il est impossible d'entretenir la peinture, qui se détériorent très-vite à moins qu'un mastic n'isole le fond des chaudières, en empêchant la condensation des vapeurs de la cale de se produire sur les fonds des générateurs. 3° Les tôles, les tirants, les armatures et les entretoises du coffre à vapeur, et principalement celles de ces parties situées à la hauteur du niveau normal, et qui par suite sont alternativement couvertes et découvertes par l'eau. Ces parties peuvent être comptées parmi celle de la chaudière qui s'oxydent le plus rapidement.

Moyens de prévenir les explosions. — Pour prévenir dans les limites du possible, et nous pourrions même ajouter, pour être complétement assuré contre les explosions fulminantes, ou contre celles pouvant provenir d'une usure partielle ou d'un manque de solidité dans la liaison des différentes parties du générateur, il suffit de suivre les règles indiquées aux n°s 197_4 et 198_2 du *Gd Traité*, dont nous rappellerons les points principaux.

1° Faire subir aux chaudières les essais à froid aux époques indiquées par les règlements, et plus souvent même si la solidité des chaudières semble douteuse.

2° Effectuer les réparations au fur et à mesure que les avaries se produisent, et ne jamais laisser subsister de petites fuites, sous prétexte que leur importance ne peut en rien gêner le fonctionnement; car des fuites d'abord légères et qui ne s'aveuglent pas par les sels, prennent rapidement de l'importance et ne tardent pas à miner profondément la tôle et à lui enlever une partie notable de sa solidité.

3° Pratiquer des visites fréquentes dans l'intérieur des chaudières et effectuer des nettoyages à fond. De plus, s'assurer de l'état des entretoises, des tirants et des armatures; examiner avec soin les points d'attache des tirants en faisant tomber la rouille qui les recouvre. — Dans le coffre à vapeur surtout, et principalement à la hauteur du niveau normal, les pièces de consolidation que nous venons d'énumérer se recouvrent rapidement d'une couche d'oxyde très-épaisse qui peut tromper à première vue, et faire croire que ces pièces présentent des garanties suffisantes de solidité, alors qu'elles sont presque complétement transformées en oxyde.

4° S'assurer fréquemment du bon fonctionnement des soupapes de sûreté et veiller à ce qu'aucun corps étranger, ou qu'un coinçage de cet organe sur son siége ou dans sa boîte, ne puisse occasionner une surcharge. D'autre part, ne

jamais attendre que la vapeur soulève d'elle-même les soupapes de sûreté; mais faire fonctionner ces organes dès que la machine est stoppée.

5° Éviter les vibrations des générateurs en fonction; et à cet effet, ouvrir lentement les soupapes d'arrêt et les soupapes de sûreté, ne jamais mettre brusquement la machine en marche et éviter de frapper sur les corps voisins des chaudières en fonctions. Sur les bâtiments de guerre, les vibrations produites par la détonation du canon peuvent occasionner des déchirures; sur ces bâtiments, plus que sur tous les autres, il importe de faire de fréquents essais à l'eau froide et de changer ou de consolider de bonne heure toutes les parties du générateur dont la résistance est notablement diminuée.

6° Veiller au maintien d'un niveau d'eau convenable et de hauteur constante pendant toute la durée du fonctionnement.

7° S'assurer de temps en temps du bon fonctionnement des manomètres, et à cet effet, comparer entre elles les indications fourniès par chacun d'eux. S'il n'existe qu'un seul manomètre, comme dans le cas d'un corps de chaudière unique, en contrôler les indications en le comparant au manomètre de rechange que l'on possède toujours en pareille circonstance.

Un grand nombre d'explosions n'ont eu pour cause que le mauvais fonctionnement ou plutôt la mauvaise disposition des soupapes de sûreté; la terrible catastrophe du *Thunderer* qui a occasionné la mort de plus de cinquante personnes, n'a pas eu d'autre cause. — Mais il faut bien avouer aussi, que bon nombre d'explosions auraient été prévenues si les essais à froid avaient été faits en temps utile; l'accident de la *Revanche* en est une preuve irrécusable.

N° 81. Nouveaux types de soupapes de sûreté. — Les soupapes de sûreté du type de la marine française présentent toutes les garanties désirables d'un bon fonctionnement, et l'on ne cite pas un seul exemple d'accident qui puisse être attribué à leurs dispositions. — Les soupapes de sûreté employées jusqu'à ces derniers temps dans la marine anglaise, présentent au contraire, de graves défauts. Ces soupapes ont la forme d'un cylindre avec portage plan, et sont chargées directement, c'est-à-dire sans intermédiaire de leviers. Pour éviter les ballottements inévitables en raison de la grande hauteur du cylindre renfermant la charge, la base de ces soupapes est ajustée dans un vide de même forme pratiqué sur le siége. Cette disposition expose la soupape à être coincée dans son encastrement, soit par la dilation de la soupape et du siége, soit par l'interposition d'un petit corps étranger. C'est ce qui est arrivé sur le *Thunderer*. La soupape d'arrêt que l'on croyait ouverte se trouvait au contraire fermée, et l'on n'ajoutait pas foi aux indications du manomètre qui était naturellement en désaccord avec ceux des autres chaudières. Le non-fonctionnement de la soupape de sûreté a occasionné l'explosion.

Soupape de sûreté de Rochford. — Pour éviter ce grand inconvénient, MM. *Vilson* et *Cornille* de *Liverpool*, construisent une soupape imaginée

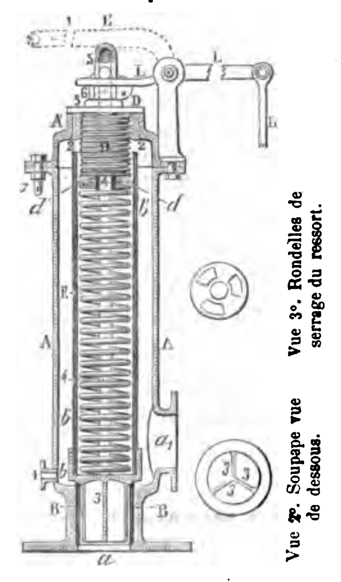
par M. *Rochford*, et dont la disposition est représentée par la *fig.* 89 dont voici la légende :

A boîte de la soupape, en fonte, fixée sur la chaudière avec joint étanche.

A′ couvercle de la boîte A, également en fonte et boulonné sur cette boîte. Ce couvercle est muni, dans l'axe de la soupape, d'un manchon en bronze 2, fixé à demeure, lequel est taraudé pour recevoir le boulon D.

Fig. 89. Soupape de sûreté de Rochford. — Échelle 1/12° pour 3m· de grille. Charge = 4kg par cm.c.

Vue 1° Coupe verticale.



Vue 2°. Soupape vue de dessous.

Vue 3°. Rondelles de serrage du ressort.

a orifice de communication de la boîte A avec le coffre à vapeur de la chaudière.

a_1 tubulure du tuyau d'évacuation.

1 orifice du tuyau de purge de la boîte A.

B siége de la soupape, en bronze, incrusté dans le conduit a de la boîte A.

b soupape de sûreté, en bronze, avec portage conique très-étroit ; cette soupape est munie de croisillons 3, qui lui servent de guide dans le siége B ; elle est de plus, surmontée d'une partie cylindrique creuse destinée à prévenir tout gondolement. Enfin cette soupape est munie d'une longue tige cylindrique 4, venue de fonte avec elle, qui traverse le couvercle A′ et pénètre dans la douille 5 où elle est fixée au moyen de la clavette 6.

b' long tube cylindrique en bronze, vissé dans la partie cylindrique qui surmonte la soupape b, et contenant le ressort à boudin R qui charge la soupape. La distance comprise entre la partie supérieure du tube b' et le couvercle A′, mesure la levée maximum de la soupape. Le couvercle A′ sert en quelque sorte de butoir et de plus, il arrêterait la soupape et l'empêcherait d'être projetée dans sa boîte si le ressort R venait à se rompre.

D bouchon en fer taraudé dans le manchon en bronze 2 du couvercle A′, et servant à maintenir le serrage du ressort R. Ce bouchon est percé suivant son axe, pour livrer passage à la tige 4 de la soupape.

d rondelles en fer enfilées sur une petite douille en bronze qui est capelé sur la tige 4, et sur lesquelles appuie le bouchon D. Ces rondelles servent à régler la tension du ressort R.

L système de leviers servant pour manœuvrer à la main la soupape de sûreté. Cette disposition a beaucoup d'analogie avec celle qui est usitée dans la marine française. L'extrémité du levier L est à fourche et s'engage au-dessous de deux petits tourillons portés par la douille 5, et au moyen desquels la soupape peut être soulevée.

L′ levier supplémentaire permettant d'augmenter la charge au moyen de poids extérieurs.

R ressort en hélice chargeant directement la soupape de sûreté. La tension de ce ressort est plus ou moins grande suivant le nombre de rondelles d. Pour remettre ces rondelles en place, il faut enlever le couvercle A′, sortir la clavette 6, démancher la douille 5 et désemparer la tige du bouchon D. Les rondelles d étant mises en place, on fait les opérations inverses pour remonter la soupape.

Dans la disposition de soupape qui nous occupe, l'inventeur a pris les pré-

cautions nécessaires pour empêcher que la charge de la soupape soit à la disposition du premier venu. La clavette 6 est munie d'un cadenas; un des boulons 7 qui fixe le couvercle A', est également muni d'un cadenas. D'autre part, la charge supplémentaire que l'on pourrait mettre sur le levier L' peut être contrôlée facilement puisque cette charge est extérieure.

Comme le ressort R est entièrement logé dans le tube cylindrique *b'*, ce dernier peut être rempli d'huile pour empêcher la corrosion du ressort. — La soupape *Rochford* nous semble réunir toutes les conditions de solidité et de sûreté de fonctionnement désirables.

Soupape-piston de sûreté Maurel et Truel. — Les soupapes de sûreté employées sur les chaudières des bâtiments de la marine française n'ont qu'un seul inconvénient : c'est celui qui résulte de la disposition de la charge indirecte. Les mouvements de roulis ou de tangage, la bande du bâtiment déterminent un changement dans la longueur du bras de levier de cette charge; il se produit des fuites, et la soupape bat sur son siége au roulis.

Si la charge totale était placée directement sur la soupape, l'inconvénient dont il s'agit serait évité. Malheureusement, à moins d'effectuer la charge au moyen d'un ressort, comme dans la soupape de *Rochford*, il se présente des difficultés sérieuses d'installation par suite du volume considérable du contrepoids.

En vue de réaliser le problème d'une soupape avec charge directe: MM. *Maurel* et *Truel* ingénieurs civils à *Marseille*, ont imaginé la disposition représentée par la *fig.* 90, qu'ils ont nommé *soupape-piston de sûreté.* Voici la légende de cette figure :

A boîte en bronze fixée sur la chaudière, avec joint étanche.

A' couvercle de la boîte à soupape, également en bronze et vissé sur cette boîte. Ce couvercle sert pour l'introduction de la soupape, en même temps que de butoir pour limiter la course de cet organe.

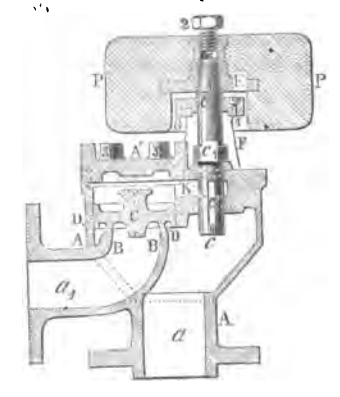
a orifice de communication de la boîte A avec le coffre à vapeur de la chaudière.

a_1 tubulure du tuyau d'échappement.

B siége de la *soupape-piston*, faisant partie de la boîte A.

C *soupape-piston* de sûreté, en bronze, avec portage plan. Cette soupape est cylindrique; elle est ajustée à frottement doux dans un petit cylindre alésé faisant corps avec la boîte A; elle est surmontée d'un appendice qui vient buter contre la partie inférieure du couvercle A', pour limiter la levée de la soupape. Lorsque ce dernier organe repose sur son siége, la face supérieure et la partie annulaire D de la face inférieure, reçoivent l'action de la vapeur, tandis que la partie circulaire interceptée par la zône de portage est en communication avec le conduit a_1 et par suite avec l'atmosphère.


Fig. 90. Soupape-piston de sûreté Maurel et Truel. — Coupe verticale.



c tige en bronze, faisant office de soupape de sûreté avec charge directe. La partie

supérieure est tronconique pour recevoir le contre-poids P. L'embase c_1 porte avec joint étanche sur la partie supérieure de la boîte A. Enfin, la partie inférieure est percée d'une fenêtre rectangulaire c', destinée à livrer passage à la vapeur qui doit charger la soupape C, et plus tard, à faire évacuer celle-ci dans l'atmosphère.

D partie annulaire de la soupape sur laquelle s'exerce d'une manière continue la pression de la vapeur, et qui sert d'orifice d'échappement quand la soupape C est soulevée.

E douille en bronze capelée sur la partie conique de la tige *c*. Le contre-poids P est coulé sur la douille E.

F montants venus de fonte avec la boîte A et dont le but est de supporter la couronne G.

G couronne en bronze fixée sur les montants F par les vis 1. Cette couronne sert de guide et en même temps de butoir à la *tige-soupape c*.

K conduit dans lequel débouche la fenêtre rectangulaire c', et qui fait communiquer la partie *a* de la boîte avec la face supérieure de la *soupape-piston* ou avec l'atmosphère. La vapeur passe par la fenêtre rectangulaire c' de la tige et par le conduit K lorsque cette tige est au bas de sa course. Lorsque la tige-soupape *c* est soulevée, sa partie inférieure ferme toute communication entre le dessus de la soupape C et la partie *a*; le conduit K et la fenêtre c' établissent alors la communication entre le dessus de la soupape C et l'atmosphère.

P contre-poids en plomb coulé sur la douille E et servant de charge directe à la *tige-soupape c*.

1 vis servant à fixer la couronne G sur les montants F.

2 vis taraudée dans la douille E et ayant pour but de décaler le contre-poids P de la partie tronconique de la tige *c*, lors du démontage de ce contre-poids.

3 excroissances de métal sur le couvercle A', servant à embarrer un levier pour monter ou démonter ce couvercle.

Jeu de l'appareil. — Lorsque la pression de la vapeur est inférieure à la pression-limite, la vapeur passe par la fenêtre c' et vient exercer son action sur la face supérieure de la *soupape-piston* C; par conséquent cette soupape est pressée sur son siége, puisque la vapeur exerce son action de haut en bas sur toute la surface, tandis que cette action ne s'exerce, de bas en haut, que sur la partie annulaire D. — Le contre-poids P augmenté du poids de la tige *c* forme la charge directe qu'il faudrait placer sur une soupape, ayant une section égale à celle de la tige *c*, diminuée de la section de la fenêtre c'. Soit, par exemple, 4^{cm} la différence des sections en question et 6^{kg} par *cm. c.* la pression effective de la chaudière sur laquelle est monté l'appareil: le poids P augmenté du poids de la tige devra valoir 24^{kg}. Tant que la pression de la vapeur n'atteindra pas 6^{kg} par *cm.c*, la tige restera au bas de sa course; mais dès que la pression en s'élevant atteindra cette valeur, la tige sera en équilibre; et pour peu que la tension dépasse ce chiffre, la tige montera et l'embase c_1 viendra buter contre la rondelle G. A ce moment, la partie cylindrique inférieure de la tige empêchera la vapeur d'arriver sur la face supérieure de la *soupape-piston*, et cette face sera mise en communication avec l'atmosphère par le conduit K et la fenêtre c'. La pression de la vapeur qui s'exerce sur la partie annulaire D, fera monter la soupape jusqu'à la faire buter contre le couvercle A', et la vapeur de la chaudière s'échappera dans l'atmosphère par le conduit a_1.

Lorsque la pression exercée sur la *section circulaire* de la base de la tige *c* deviendra inférieure à 24^{kg}, la tige *c* redescendra et la face supérieure de la soupape C se trouvera de nouveau pressée par la vapeur de la chaudière, et

par suite cette soupape retombera sur son siége en vertu de son propre poids. Lors d'un nouvel excès de pression, les mêmes faits se reproduiront et ainsi de suite.

Cette soupape est très-simple et très-ingénieuse. Il y a lieu de remarquer que les battements ne sont pas à craindre. D'abord, la soupape commence à se soulever dès que la partie cylindrique inférieure de la tige *c* s'engage dans son guide, et la montée de la soupape C n'est pas trop brusque parce que la pression en K ne diminue pas tout d'un coup. Une fois soulevée, la soupape C est tenue immobile.

La fermeture a toujours lieu à une pression inférieure à celle qui a déterminée la levée de la soupape, car pendant l'ouverture, la vapeur agit sur la section entière de la tige *c*. Par suite, lorsque la *tige-soupape c* retombe, il n'y a pas de battement. Il n'y en a pas davantage pour la soupape-piston C.

Comme appareil de manœuvre pour les chaudières marines, ce genre de soupape présente un inconvénient, c'est l'ouverture en grand de la soupape-piston C, ce qui peut occasionner des projections d'eau. Cet inconvénient serait évité si cette *soupape-piston* était munie d'une tige et d'un mécanisme permettant de l'ouvrir à la main pendant les stoppages.

D'un autre côté, le jeu de la *tige-soupape c* doit être surveillé, et on doit faire jouer cet organe de temps à autre.

Le genre de soupape qui nous occupe, fonctionne déjà depuis longtemps sur plusieurs chaudières industrielles, et l'on n'a pas encore signalé le moindre dérangement.

N° 81_3 Coups de feu dus aux dépôts graisseux. — Ainsi que nous l'avons déjà dit à plusieurs reprises dans le cours de cet ouvrage, l'un des graves inconvénients, de l'emploi des condenseurs à surface, réside dans les dépôts graisseux qui se forment à l'intérieur des condenseurs, des bâches et des chaudières. Les dépôts formés dans ces récipients ont quelquefois atteint des proportions telles, qu'ils ont occasionnés des coups de feu.

Ces dépôts étaient surtout abondants lorsqu'on employait le suif au graissage des tiroirs et des cylindres, et s'accumulaient principalement sur les ciels des foyers, près de la boîte à feu. Actuellement, le graissage au suif est supprimé et remplacé par le graissage à l'huile; de plus, les matières grasses sont neutralisées au moyen d'un lait de chaux (n° 75_2). Les dépôts graisseux sont par suite beaucoup moins à craindre; mais ils n'ont pas complétement disparu, et les chaudières doivent être visitées et nettoyées comme par le passé, à la suite de chaque période de fonctionnement.

N° 82. — 1. Avaries et réparations diverses aux chaudières ordinaires. — 2. Avaries et réparations spéciales aux chaudières Belleville. — 3. Avaries dans les organes d'alimentation.

N° 82_1 Avaries et réparations diverses aux chaudières ordinaires. — Les principales avaries auxquelles sont exposées les

chaudières ordinaires à faces planes, et les moyens à employer pour effectuer les réparations qu'elles nécessitent, ont été énumérés au n° 195 du *G^d Traité*.

Les réparations indiquées à ce numéro, sont évidemment applicables aux chaudières cylindriques à haute pression. Nous compléterons ce qui concerne les réparations des chaudières ordinaires par les renseignements suivants.

Consolidation d'une chaudière vieillie et que l'on ne peut remplacer. — Dans les chaudières usées, les entretoises et principalement les armatures ne pourraient être changées d'une façon complète, car le dérivetage et le rivetage occasionneraient un ébranlement qu'il est très important d'éviter si l'on ne veut pas s'exposer à des fuites. Si les points d'attache des tirants sont encore suffisamment solides, et que les tirants soient en mauvais état, ces derniers pourront être démontés, réparés et remontés sans occasionner d'ébranlements; mais si les armatures elles-mêmes sont rongées, ce qui a le plus souvent lieu, il sera prudent de ne pas y toucher et de placer des armatures supplémentaires entre les premières. Ces nouvelles armatures pourront être maintenues par des boulons, de façon à ne pas occasionner de chocs lors de leur mise en place, et elles serviront à fixer de nouveaux tirants que l'on confectionnera avec du fer d'approvisionnement.

De même, les entretoises usées pourront être conservées si toutefois elles ne fuient pas et si elles sont simplement amincies dans leur partie milieu, puis on placera de nouvelles entretoises dans les parties les plus solides de la tôle et autant que possible à égale distance des anciennes. Comme la tôle sera généralement trop faible pour qu'on puisse la tarauder, les entretoises seront de simples boulons serrés par un écrou, et munis intérieurement d'une douille pour maintenir l'écartement des tôles.

Dans le cas ou l'on manquerait de fer rond pour confectionner des tirants ou des entretoises, on pourrait remplacer ces pièces par des entretoises ou des tirants de fortune, confectionnés avec des bandes de tôle dont les extremités seraient coudées en Z; les pattes ainsi formées serviraient à maintenir ces pièces sur les tôles au moyen de boulons.

Consolidation des entretoises du fond des chaudières. — Les chaudières réglementaires à faces planes, reposent généralement sur une plate-forme enduite de mastic, et les entretoises des fonds traversent une douille servant à supporter les foyers et à maintenir un écartement convenable entre les tôles formant la lame d'eau. Or, dans beaucoup d'appareils, ces entretoises sont taraudées de bout en bout puis rivées aux extrémités; ces rivures s'exécutant à froid, il arrive fréquemment qu'elles ne sont pas étanches. Lorsque la fuite se déclare du côté du cendrier, il y a presque toujours possibilité de l'étancher en reprenant le mattage, les chaudières ayant été préalablement vidées; mais, lorsque la fuite se produit du côté de l'enveloppe,

il n'en est pas de même, à cause de la difficulté que l'on éprouve pour l'atteindre.

Lorsque le boulon d'entretoise avarié ne tombe pas sur une carlingue et qu'il y a possibilité de se glisser dans la cale pour arriver jusqu'à lui, on perce le plancher et on enlève le mastic tout autour du boulon puis on matte ce dernier, ou même on le remplace sans beaucoup de difficultés. Pour effectuer ce remplacement, il suffit de percer, à chacune des extrémités du boulon, un trou d'un diamètre un peu inférieur à celui du corps du boulon et d'une profondeur un peu supérieure à celle de la tôle; en frappant quelques coups sur la douille, au moyen d'une tringle de fer employée comme billard, et introduite par l'un des trous de sel, on parvient facilement à casser l'entretoise au ras des tôles; le métal engagé dans les filets s'enlève ensuite à l'aide d'un burin bien affilé. Si le taraudage est un peu avarié, on le répare en repassant le taraud pour entretoise qui fait partie de l'outillage du bord, puis il ne reste qu'à introduire à travers la douille, une nouvelle entretoise que l'on fixe à la manière ordinaire; enfin on rétablit le plancher.

Si l'entretoise tombe directement sur une carlingue et que la fuite se produise du côté de l'enveloppe, voici le procédé qu'il convient d'employer pour effectuer une réparation radicale. Percer le boulon de part en part, par le cendrier, découper le plancher au-dessous et un peu sur l'avant de l'entretoise, de façon qu'on puisse découvrir le trou; disposer un boulon à tête polygonale avec écrous et rondelles, et donner à ce boulon un diamètre égal à celui du trou que l'on a percé; cette dernière pièce est destinée à remplacer l'entretoise. Pour le mettre en place, il suffira de présenter sur la carlingue, et directement au-dessous du trou, l'écrou surmonté de sa rondelle, cette dernière ayant été enduite de minium, puis d'introduire, par le cendrier, le boulon également muni d'une rondelle garnie de minium; en vissant ce boulon dans son écrou, que l'on aura soin de contretenir, on obtiendra un joint étanche.

Dans le cas où l'on n'aurait pas le temps nécessaire pour effectuer la réparation radicale que nous venons d'indiquer, on peut obtenir l'étanchéité d'un boulon d'entretoise tombant sur une carlingue en employant le procédé suivant: découper le plancher au-dessous et un peu en avant de l'entretoise; pratiquer dans un coin en bois une cavité destinée à loger l'extrémité de l'entretoise; remplir cette cavité de minium battu avec du chanvre haché; puis présenter ce coin ainsi préparé sous la chaudière, de manière que la tête de l'entretoise tombe dans la cavité, et bien l'appliquer au moyen d'un deuxième coin que l'on enfoncera à coups de marteau. Il va de soi qu'il faut laisser au mastic le temps de sécher avant de refaire le plein.

Consolidation de la partie basse de la façade. — La partie basse de la façade des chaudières est fréquemment mouillée par l'eau employée à l'extinction des escarbilles et surtout par l'eau que l'on projette sur le charbon lors de la mise bas des feux. Il résulte de ce fait une rapide oxydation des tôles au ras du parquet de chauffe, si l'on n'a pas le soin de garantir ces parties par une cornière ou une bande de tôle.

En janvier 1869, le premier maître mécanicien du transport l'*Ardèche* s'aperçut

d'une légère fuite dans les parties basses de la chaudière babord arrière, pendant une traversée de Cherbourg à Brest. A l'arrivée du bâtiment dans ce dernier port, et après une visite minutieuse faite en sondant ces parties au marteau, on constata que la tôle, qui dans le principe avait 10 millimètres d'épaisseur, se trouvaient réduite à 2 millimètres dans certains endroits. On fit immédiatement appliquer sur les parties ainsi réduites, des plaques de tôle maintenues au moyen de petits boulons. A cause du peu de hauteur existant dans cette partie, d'une part, et d'autre part, à cause de la cornière formant l'entourage du fourneau, on ne put obtenir une application parfaite des placards sur la façade. On y remédia au moyen d'un glacis de ciment de Portland, qui préserva d'ailleurs la façade de toute nouvelle dégradation. Ce ciment fut appliqué à l'extérieur, et maintenu au moyen d'une espèce de serre-goutière en bois, clouée sur une traverse intercalée entre deux carlingues transversales; et pour l'empêcher d'être brûlée par les escarbilles, cette serre-goutière fut recouverte d'une tôle mince. On appliqua aussi une couche de ciment à l'intérieur de la chaudière. Après cette réparation, l'étanchéité fut parfaite et aucune fuite ne s'est déclarée dans ces parties pendant les deux voyages successifs que ce bâtiment fit ensuite de Brest aux Antilles.

N° 82$_2$ Avaries spéciales aux chaudières Belleville. — Préalablement, nous rappellerons qu'avec ce genre de chaudière, les fuites ne présentent pas à beaucoup près, la même gravité qu'avec les chaudières ordinaires. En effet, en cas de rupture d'une portion de la partie supérieure du faisceau tubulaire, la vapeur trouve naturellement une issue par la cheminée et les hommes ne courent pas le danger d'être brûlés. D'autre part, la quantité d'eau contenue dans ces chaudières étant très-petite, cette eau ne tardera pas être à vaporisée si l'on a pu fermer à temps l'alimentation. — Si la fuite se déclare dans le réservoir d'eau, l'accident présente encore moins de gravité, car cette eau se répandant sur le foyer, les feux sont d'autant plus rapidement éteints que la fuite est plus considérable, et la vapeur trouve encore une issue facile par la cheminée.

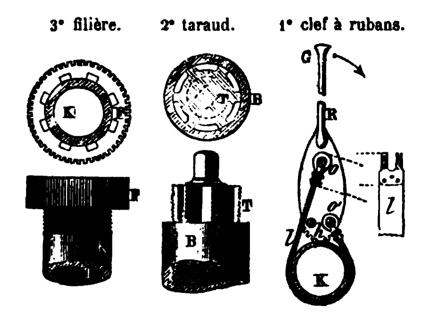
Les avaries auxquelles ces chaudières sont le plus fréquemment exposées, consistent dans la rupture des boîtes de raccord, dans les fuites aux divers joints, et principalement dans les joints des tubes avec les boîtes de raccord ou avec les collecteurs; et enfin dans des coups de feu aux tubes, résultant d'un manque d'eau ou de l'accumulation des dépôts salins ou graisseux. Par ailleurs, les appareils de niveau d'eau, les manomètres, etc., sont exposés aux mêmes avaries que ceux des chaudières ordinaires, et les réparations de ces organes accessoires s'exécutent ainsi qu'il est dit au n° 195, du G^d *Traité*.

Outils de démontage et de réparation. — Pour les générateurs Belleville, il existe trois outils spéciaux de démontage ou de réparation : la *clef à ruban*, le *taraud* et la *filière* pour tubes.

Clef à ruban. — La clef à ruban R, *fig.* 91, 1°, servant à visser et à dévisser les tubes et les manchons d'assemblage, se compose d'une longue tige cylindrique G aplatie à l'une de ses extrémités; la partie plate a la forme elliptique; elle est aciérée, dentée et trempée sur la partie arrondie opposée à la tige. Le petit engrenage *h* est destiné à empêcher le glissement lorsqu'on presse la clef autour d'un tube K. Une lame d'acier *l*, articulée en *o* et en *o'*, embrasse le tube. En imprimant un mouvement de rotation à la clef, dans le sens de la flèche, la clef tourne autour du point *h*, et les points *o* et *o'* décrivent des arcs de longueurs différentes; il en résulte, par suite, une compression du tube par la lame d'acier qui forme alors frein, et qui entraîne ce tube dans le mouvement de rotation imprimé au levier.

Fig. 91. Outils de démontage et de réparation des chaudières *Belleville*.

3° filière. 2° taraud. 1° clef à rubans.



Taraud. — Le taraud T, *fig.* 91, 2°, sert à réparer le filetage des boîtes de raccord; on le passe toutes les fois qu'un tube a été démonté, et avant qu'il soit remis en place.

Filière. — La filière F, *fig.* 91, 3°, sert à réparer le filetage des tubes qui ont été démontés. On se sert de la clef à ruban R pour la faire tourner.

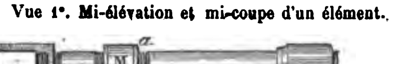
Démonter un élément ou un groupe tubulaire. — Pour sortir un élément de tubes, il faut couper les rondelles *a*, *fig.* 92, *vue* 1°, puis visser complétement les manchons de raccord M sur les bouts d'attente correspondants, de façon à les faire désemparer du tube supérieur et du tube inférieur de l'élément.

Pour sortir un groupe tubulaire de son enveloppe, il faut commencer par démonter tous les joints des organes accessoires, puis, s'il s'agit d'un appareil d'embarcation, on démonte la couverture de l'enveloppe, et on dispose un chantier pour recevoir le faisceau tubulaire. — S'il s'agit d'un grand appareil, on enlève les portes des boîtes à tubes et la tôle transversale de façade située au-dessus; puis on installe sous les tubes, un châssis à ridoirs qui fait partie de l'outillage des bâtiments pourvus de ce genre de générateur. Ce châssis est appuyé d'une part, contre les côtés de la maçonnerie du foyer, et d'autre part, sur un échafaudage; il sert à recevoir le groupe tubulaire lorsqu'on le fait sortir de son enveloppe. A défaut de ce châssis, on pourra employer des madriers s'appuyant d'une part, sur la maçonnerie, et d'autre part, sur des tréteaux convenablement disposés. — Les boulons de fixation du collecteur inférieur sont ensuite démontés, puis on soulève légèrement le groupe tubulaire

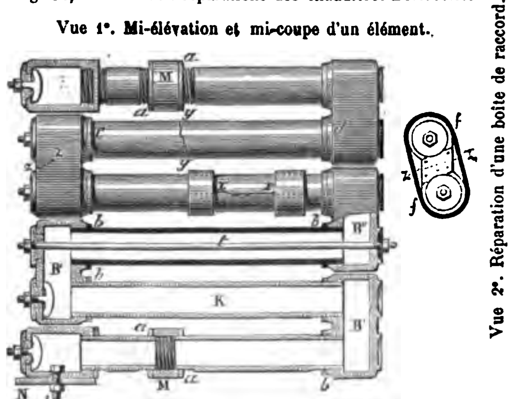
au moyen de crics ou de palans, et on place des rouleaux de fer ou de bois entre le dessous des tubes et le châssis, ou, à défaut de ce dernier, entre les tubes et les madriers. Cela fait, on tire le générateur de son enveloppe ; puis on enlève les tirants et les armatures qui servent à relier entre eux les divers éléments.

Démonter un tube. — Lorsqu'un tube fuit, on est presque toujours dans l'obligation de le démonter complétement, soit pour refaire le joint, soit pour le remplacer ; il n'y a que dans le cas où la fuite serait peu importante que l'on pourrait l'étancher en agissant comme il est dit ci-après [au paragraphe *Fuites aux divers joints*. Quoiqu'il en soit, pour sortir un tube K, *fig.* 92, *vue* 1°, on démonte l'élément dans lequel il se trouve, puis on démonte le tube lui-même. A cet effet, les rondelles *b*,*b* sont coupées ; le tube est saisi avec la clef à rubans R, *fig.* 91, 1°, et vissé dans une des boîtes de raccord B′, par exemple, jusqu'à ce que l'autre B soit désemparée ; cette dernière étant enlevée, le tube est tourné en sens inverse pour être désemparé de la première boîte B′. Si l'on ne parvenait pas à dévisser le tube, il faudrait chauffer légèrement la boîte de raccord, et bien huiler les filets. Si ce moyen ne réussit pas, il faut couper le tube.

Couper une bague. — Pour couper une bague *a*, *fig.* 92, *vue* 1°, on se sert d'un bec-d'âne, à l'aide duquel on pratique une première saignée de 4 à 5 millimètres de largeur, suivant une génératrice, en ayant soin de ne pas attaquer les filets. Lorsque l'on commence à voir ces derniers, on agit de manière à ouvrir la bague en chassant le burin à la façon d'un coin. On fait tourner cette pièce d'un demi-tour dès qu'elle est devenue suffisamment libre sur le tube, et on fait une seconde tranchée diamétralement opposée à la première. On arrive ainsi à séparer la bague en deux parties à peu près égales, qui s'enlèvent alors facilement, et le tube est libre, c'est-à-dire ne tient plus qu'aux boîtes de raccord. — On couperait de la même manière un des manchons M, si l'on ne parvenait pas à le dévisser.


Fig. 92, relative aux réparations des chaudières *Belleville*.

Vue 1°. Mi-élévation et mi-coupe d'un élément.



Vue 2°. Réparation d'une boîte de raccord.

Changer un tube. — Un tube se remet en place en effectuant, dans un sens inverse, les opérations que nous avons indiquées pour le sortir ; voici, d'ailleurs, la marche à suivre : — 1° repasser le taraud T, *fig.* 91, 2°, dans

les boîtes de raccord ou les collecteurs, et la filière F, *fig.* 91, 3°, sur le tube, afin de réparer le filet, s'il y a lieu; — 2° visser à bloc sur les extrémités des tubes, les petites bagues *b*, destinées à faire joint; — 3° visser le tube à l'aide de la clef à ruban, dans l'une des boîtes de raccord B, par exemple *fig.* 92, *vue* 1°, jusqu'à ce que la distance comprise entre l'extrémité libre de ce tube et la boîte de raccord B dans laquelle il est vissé, soit égale à l'écartement *cd* compris entre deux boîtes de raccord en regard. A ce moment, présenter la boîte B′ et dévisser le tube de la boîte B en faisant prendre le filet dans la boîte B′. Comme le pas est le même à chacune des extrémités du tube, l'écartement demeurera constant et égal à *cd*. — Il va de soi que, pendant cette opération, les boîtes B et B′ doivent être maintenues fixes pour les empêcher d'être entraînées dans le mouvement de rotation que l'on imprime au tube; — 4° visser à fond les rondelles *b*, en ayant soin d'interposer entre elles et les pièces B et B′, contre lesquelles elles doivent porter, une petite bague de chanvre imbibée de blanc de céruse; — 5° une fois le tube remis en place, raccorder l'élément aux bouts d'attente, au moyen des manchons d'assemblage M que l'on visse à poste avec la clef R.

Fuites aux divers joints. — Lorsqu'un tube fuit par l'un de ses joints ou qu'il est crevé, il n'y a rien à faire pendant la marche, si ce n'est d'abaisser la pression de fonctionnement afin de diminuer l'intensité de la fuite. Toutefois, si l'appareil évaporatoire est formé de plusieurs corps, et que la fuite soit considérable, il y aura avantage à supprimer le corps avarié et à fonctionner avec les autres corps en conservant la pression de régime.

Quand une fuite se produit à la jonction d'un tube avec sa boîte de raccord ou avec l'un des collecteurs, on parvient à étancher la fuite en desserrant la petite bague pour interposer dans le joint une limande garnie de minium, puis en serrant la bague de façon à comprimer la limande. Cette réparation n'est praticable pour les tubes intérieurs, qu'à la condition de sortir l'élément tubulaire correspondant de son enveloppe. Ce démontage est d'ailleurs indispensable pour effectuer une réparation quelconque.

Réparer un tube. — Si un tube crevé ne pouvait être changé à cause du manque de tubes de rechange, on pourrait le réparer, soit en le brasant au cuivre, soit au moyen de frettes mises à chaud si la cassure s'est produite suivant une direction telle que *xx*, *fig.* 92, *vue* 1°, ou avec un manchon d'assemblage si le tube s'est crevé suivant une circonférence comme en *yy*.

Dans le cas d'une cassure *xx*, suivant une génératrice, il est nécessaire, après avoir sorti le tube, d'arrêter la fente en perçant, à chacune des extrémités, un petit trou dans lequel on visse un goujon taraudé. Si le métal est suffisamment épais, on pourra le braser; et, à cet effet, on nettoiera parfaitement la fente ainsi que l'intérieur et l'extérieur du tube par le travers de cette partie; puis on l'entourera d'une frette provisoire, pour rapprocher les lèvres de la fente, et, enfin, on le brasera par l'intérieur. — Si le tube est fortement aminci, on ajoutera une ou deux frettes extérieures mises à chaud.

Pour une fente telle que *yy*, le moyen qui présente le plus de garanties de

solidité, consiste à couper le tube par le travers de la partie fendue, puis à tarauder au moyen de la filière F, *fig.* 91, 3°, les deux extrémités des tronçons. Ces tronçons sont ensuite réunis au moyen d'un manchon d'assemblage tel que M, qu'il est toujours facile de confectionner à bord, si l'on n'en possède pas de rechange.

Il arrive assez fréquemment que le filet s'arrache à l'extrémité des tubes, ou dans la boîte de raccord qui est en fonte; en pareil cas, il est impossible de visser solidement les tubes dans leur boîte, et par suite, il faut, ou changer la boîte, ou agir ainsi qu'il suit, si l'on ne possède pas de boîte de rechange. Mesurer bien exactement la distance *cd* qui doit exister entre deux boîtes en regard; braser sur le tube deux rondelles en fer *b*, *b*, dont les faces extérieures soient distantes l'une de l'autre d'une quantité égale à *cd*; tourner ces rondelles de manière que leurs faces de portage soient bien planes et même plutôt un peu creuses; enfin, percer un trou au centre du fond de la boîte B″ de l'arrière pour livrer passage au tirant *t* dont il est parlé ci-après. Le tube est ensuite présenté entre les deux boîtes de raccord B′ et B″ ainsi que l'indique la *vue* 1°, et la réunion du tube, des boîtes B′ et B″ et du bouchon de nettoyage, s'opère au moyen d'un seul tirant tel que *t*, lequel remplace le boulon à ancre. Avant d'effectuer le serrage des écrous, l'on a eu soin de garnir d'une bague en chanvre graissée de minium et de blanc de céruse, les faces planes des rondelles *b*, *b*, qui doivent faire joints sur les boîtes.

Nous avons vu une chaudière *Belleville* pour embarcation, dont tous les tubes avaient été réparés de la sorte, et qui a fait ainsi un service très-actif pendant plusieurs mois.

Réparation des boîtes de raccord. — Une boîte de raccord cassée suivant *zz*, *fig.* 92, *vue* 2°, peut facilement se réparer par l'application d'une bande de tôle sur la fente préalablement arrêtée par le percement de trous aux deux extrémités, et par l'adjonction d'une frette *f* mise à chaud et entourant cette boîte. — Si une boîte de raccord est totalement hors de service, il est facile d'en confectionner une avec de la tôle de chaudière que l'on a toujours en approvisionnement; et si cette boîte de fortune ne peut être filetée, on effectue la jonction des tubes en employant le moyen indiqué par la *vue* 1°, c'est-à-dire en brasant des rondelles sur ce dernier, et en employant des tirants comme nous l'avons dit plus haut.

Remontage de l'appareil. — Une fois la réparation de la partie tubulaire effectuée, le générateur est introduit dans son enveloppe en agissant comme il a été dit pour la sortie; le collecteur inférieur est jonctionné à la pièce N au moyen des boulons 1, et enfin les joints des différentes pièces extérieures sont exécutés avec soin.

Avant de remettre l'appareil en service, il faut autant que possible laisser sécher ces divers joints. Si l'on est pressé, on fait sécher ces joints en allumant un très-léger feu de bois ou de charbon de bois dans le foyer avant de mettre de l'eau dans le générateur; le mastic au minium, dont on fait usage pour la confection de ces divers joints, se ramollit d'abord sous l'action de la

première chaleur, et ce n'est que peu à peu qu'il durcit et que l'étanchéité peut être assurée.

Quant aux briques réfractaires formant l'entourage du foyer, leur remplacement s'effectuera sans difficulté. Il suffira de prendre la précaution de remplacer les vieilles briques au fur et à mesure, en ne démolissant pas tout un côté à la fois, afin de ne pas fatiguer les parties supérieures de l'enveloppe.

N° 82_3 Avaries dans les organes d'alimentation. — Les principales avaries auxquelles sont exposés les organes d'alimentation sont traitées au n° 196_2 du *Gd Traité.* Nous complétons ce numéro en signalant quelques faits importants.

— Sur le transport la *Rance*, la boîte alimentaire présentait ce défaut que le siége du clapet d'aspiration se trouvait presque à fleur de la partie inférieure du conduit de communication de la boîte à clapets avec le corps de pompe. Il résultait de ce fait, que le clapet d'aspiration était maintenu soulevé par l'action du courant d'eau refoulé par la pompe, et que l'eau retournait à la bâche au lieu de se rendre aux chaudières. — Pour obvier à cet inconvénient, on fit monter la boîte alimentaire sur le tour pour abaisser d'un centimètre la zone de portage du clapet d'aspiration, et on rapporta, en outre, à la partie inférieure de l'orifice, une petite cloison dont la hauteur était égale au tiers du diamètre de l'orifice. Afin de conserver la même course au clapet d'aspiration, on souda contre ce clapet, sur sa tige, une rondelle d'un centimètre d'épaisseur. — A la suite de ces modifications, l'alimentation qui fonctionnait très-mal auparavant, se fit dans de très-bonnes conditions. (*M. Chamaillard.*)

— On rencontre encore parfois sur certains bâtiments dont les organes de chaudières datent d'une dizaine d'années, des régulateurs d'alimentation dans lesquels les tiges faisant office de butoirs, peuvent se dévisser complétement. Avec une semblable disposition, il peut arriver que par inadvertance, on dévisse la tige de manière à la désemparer. En pareil cas, l'eau de la chaudière sortira nécessairement par le trou de passage de cette tige et s'élèvera à une hauteur plus ou moins grande, suivant la pression de fonctionnement. Le procédé à employer pour remettre la tige à son poste, sans se brûler, consiste à fermer l'alimentation des autres corps de chaudière, afin que toute l'eau refoulée par les pompes soit envoyée au régulateur avarié ; sous l'action de ce fort courant, la soupape restera complétement soulevée et viendra boucher le trou de passage de la tige, et en outre, le peu d'eau qui sortira par ce trou, sera sensiblement à la même température que l'eau d'alimentation. On pourra donc, sans danger, remettre cette tige à son poste. — Pour empêcher le retour d'un semblable accident, il sera nécessaire de mettre une goupille fendue à la partie inférieure de la tige, afin de limiter le soulèvement de cette dernière.

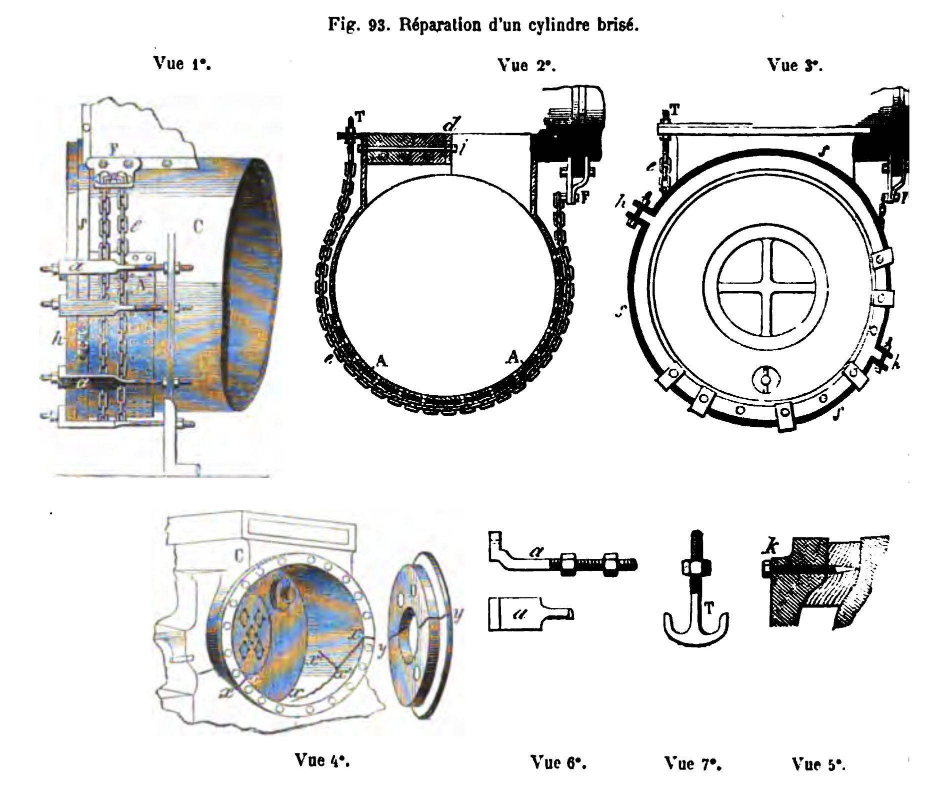
CHAP. VII, § 2. — AVARIES DANS LES MACHINES.

N° 83. — 1. Avaries dans les cylindres. — 2. Moyens à employer pour continuer de fonctionner dans le cas d'un cylindre paralysé. — 3. Avaries des tiroirs.

N° 83_1 Avaries dans les cylindres. — On trouvera au n° 129_1 du *Gd Traité* plusieurs exemples d'avaries de cylindres, ainsi que les moyens employés pour les réparer.

La *fig.* 93 montre la réparation d'un cylindre de la machine du transport l'*Entreprenante*, appareil horizontal à deux cylindres, du type *Mazeline*. — L'avarie

Fig. 93. Réparation d'un cylindre brisé.



survenue à la machine de ce bâtiment le 11 février 1875, pendant qu'il effectuait son retour de la Guadeloupe en France, a été occasionnée par la chute de l'un des tampons de trou de sable du piston dans le cylindre avant. Il y

avait environ six heures que la machine avait été mise à l'allure de 45 tours et qu'elle fonctionnait dans de très-bonnes conditions sans échauffements ni chocs, lorsque l'accident arriva. La machine fut stoppée immédiatement, et on constata les avaries suivantes :

1° Le fond D du cylindre, *fig.* 93, *vue* 4°, était cassé suivant un diamètre *y y*, un peu incliné sur l'avant, et la partie inférieure avait pris la position d'un clapet à moitié ouvert. Les prisonniers servant à maintenir le trou d'homme sur la partie supérieure du plateau de cylindre, avaient été arrachés.

2° La partie inférieure du cylindre était rompue obliquement sur une longueur de deux mètres, suivant une direction *x x*, *vue* 4°. Dans sa plus grande largeur, le morceau ainsi détaché avait environ 20^{cm} à partir du collet ; ce morceau était resté jonctionné à la partie inférieure du plateau D. Le cylindre était en outre fêlé suivant la génératrice *x'x'*, sur une longueur de 18^{cm} à partir de la cassure.

3° Les deux tiges de piston étaient courbées sur une longueur de 30^{cm} à partir de l'embase de jonction avec le piston ; la flèche de ces courbures était de 4^{cm} environ. En outre, le piston s'était obliqué dans le cylindre et se trouvait coincé dans ce récipient.

4° Enfin, la partie inférieure de la couronne du piston et une des bagues métalliques étaient cassées.

Après avoir démonté les différentes parties avariées, on procéda immédiatement à la réparation en commençant par le cylindre.

Réparation du cylindre. — La partie arrachée fut rapportée aussi bien que possible et maintenue en place au moyen de crics et de coins. On découpa trois bandes de tôle de 2^m,50 de longueur sur 0^m,30 de largeur et 7^{mm} d'épaisseur (le bâtiment ne possédait pas de tôle plus épaisse). Ces bandes furent assemblées l'une sur l'autre, au moyen de rivets à tête fraisée, puis cintrées et ajustées au contour du cylindre C, en A, *vues* 1° et 2°. On les fixa par 38 boulons de 18^{mm} à tête fraisée ; ces boulons furent passés par l'intérieur du cylindre et eurent leur tête noyée dans l'épaisseur du métal. Ils furent serrés de l'extérieur, sur les tôles qui avaient préalablement été recouvertes d'une bonne couche de mastic au minium. En outre, afin de rapprocher d'une manière plus intime les parties cassées et d'augmenter la solidité, une forte frette *s*, *vues* 1° et 3°, en deux parties, fut mise à chaud sur le collet du cylindre, et serrée pendant le refroidissement au moyen de deux gros boulons *h* de 35^{mm} de diamètre. Cette réparation eût certainement suffi pour résister aux efforts intérieurs ; mais malgré cela, on jugea à propos d'ajouter encore deux bouts de chaîne *e*, *vues* 1°, 2° et 3°, passés en ceinture sous les tôles. Ces chaînes étaient tenues, d'une part, sur le collet du conduit d'évacuation au moyen d'une patte F et elles étaient raidies à l'aide d'un boulon à ancre T, *vues* 2°, 3° et 7°, traversant un des collets de jonction de la boîte à tiroir.

La fêlure *x'x'* suivant la génératrice, fut limitée par un petit trou percé à son extrémité, puis ce trou fut bouché par un goujon taraudé, et la plaque de tôle placée extérieurement vint recouvrir cette fêlure. — Enfin, on pratiqua dans l'intérieur du cylindre, à la jonction des parties cassées, une cannelure en queue d'aronde de 5^{mm} de largeur sur 3^{mm} à 4^{mm} de profondeur, dans la-

quelle on coula de l'antifriction; on obtint de la sorte une étanchéité parfaite.

Le fond de cylindre brisé fut remplacé par le fond de rechange; seulement comme la partie réparée du cylindre ne semblait pas offrir toutes les garanties désirables de solidité pour y fixer le plateau, on fit d'abord le joint comme à l'ordinaire ; puis on disposa six forts boulons à étriers *a*, *vues* 1° et 6°, placés horizontalement, les étriers venant porter sur le collet du plateau, et les tiges de ces boulons traversant les nervures des brides de fixation du cylindre à la plaque de fondation.

Ces boulons furent serrés au moyen d'écrous et de contre-écrous; l'on obtint ainsi non-seulement un très-bon joint, mais la certitude que le plateau présenterait une très-bonne tenue à la poussée intérieure de la vapeur.

Réparation des tiges. — Il fut impossible de démonter les tiges de piston pour les redresser par l'un des moyens indiqués au n° 187_4 du *G^d Traité*, le piston s'étant incliné dans le cylindre et la partie courbée des tiges étant celle engagée dans ce récipient. On fut par suite dans l'obligation de les redresser sur place. Cette opération présentait de sérieuses difficultés vu les dimensions de ces tiges et l'impossibilité dans laquelle on se trouvait de les chauffer convenablement. On parvint cependant à les redresser suffisamment, par un martelage effectué à l'endroit courbé, combiné avec un effort de sens inverse à celui qui avait produit la flexion. Ce dernier effort fut exercé au moyen d'un cric et du vireur. A cet effet, la partie inférieure du piston fut calée contre le plateau antérieur du cylindre, puis le cric fut forcé de manière à reporter cette partie inférieure en abord. En même temps, on fit agir sur le vireur dans le sens convenable pour rapprocher le piston du haut de sa course. Ces deux efforts exercés simultanément et progressivement pendant le martelage, ramenèrent le piston dans sa position normale, et redressèrent suffisamment les tiges pour permettre le fonctionnement de la machine, en ovalisant un peu les bagues et les chapeaux des presse-étoupe.

La bague de piston qui avait été rompue fut remplacée par celle de rechange, et la couronne fut facilement réparée au moyen de bandes de tôle.

Essais après réparation. — Dans les essais faits à la suite de cette réparation, on fonctionna avec la moitié des feux; la pression fut maintenue entre 80^{cm} et 90^{cm} de mercure, les soupapes étant chargées à 130^{cm}. En outre, dans le but de ne pas fatiguer les tiges de piston du cylindre réparé et le cylindre lui-même, le registre de ce dernier ne fut ouvert qu'à 2,5 dixièmes; tandis que celui de l'autre cylindre fut ouvert à 4 dixièmes. Dans ces conditions, la machine fonctionna à une vitesse de 40 tours, sans chocs, ni fuites, ni échauffements; on remarqua seulement un petit mouvement dans les chapeaux des presse-étoupe du cylindre réparé, mouvement qui provenait de ce que les tiges n'avaient pas été redressées d'une façon parfaite. Cette dernière partie était le seul point défectueux de la réparation; et sans être inquiétante, elle pouvait pourtant faire craindre un accroissement de courbure des tiges, si on les soumettait à un effort de compression trop considérable. Dans le but de réduire cet effort, on boucha la moitié de l'orifice arrière (*vues* 2° et 5°), au moyen d'un morceau de bois maintenu par des boulons *i*, *vue* 2°, traversant les cloisons *d* de l'orifice, et par des vis *k*, *vue* 5°, mises par le front du cylindre. On obtint de la sorte, un étran-

glement de vapeur diminuant considérablement la poussée sur le piston lors de la montée de cet organe.

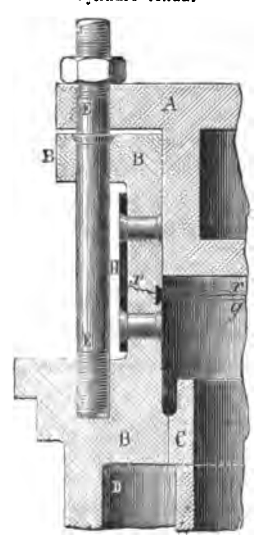
La machine fonctionna pendant 144 heures dans ces conditions, et le bâtiment put atteindre le port de Toulon sans qu'aucune partie de la réparation ait laissé à désirer. La visite faite à Toulon, lors de l'arrivée, a fait ressortir qu'il eût été possible de fonctionner longtemps dans ces conditions sans aucune crainte.

Cette réparation a été effectuée à la mer en quinze jours ; elle nous semble très-bien comprise et elle fait le plus grand honneur au 1er maître mécanicien M. *Laurent* qui l'a dirigée et menée à bonne fin.

Il est regrettable que les tiges de piston n'aient pu être démontées et redressées d'une façon parfaite, opération qui aurait pu être effectuée une fois les tiges à peu près redressées, car une fois enlevées, les bagues formant le fond de la boîte à étoupe auraient livré passage aux tiges. Il est probable que le temps aura manqué pour effectuer cette opération, qui aurait alors rendu la réparation irréprochable.

Autre avarie de cylindre. — Le paquebot des Messageries maritimes le *Sénégal*, pourvu d'une machine à pilon à trois cylindres Woolf, a eu son cylindre admetteur rompu par une cause semblable à celle qui avait occasionné l'avarie de l'*Entreprenante*.

Fig. 94. Réparation d'un cylindre fendu.



Dans les commencements de l'année 1874, pendant que ce bâtiment effectuait son retour en France, l'un des tampons qui bouchait un des trous de sable du piston du cylindre admetteur, sortit de son encastrement par le fait de l'ébranlement occasionné par une projection d'eau. Ce tampon vint se loger entre le piston et le couvercle, et son épaisseur étant plus grande que l'espace mort, il produisit un choc au moment où le piston arrivait à bout de course. Ce choc détermina la rupture du piston et fendit circulairement le cylindre extérieur B, *fig.* 94, suivant x x, sur les trois quarts de sa circonférence.

Le cylindre admetteur, qui comportait d'ailleurs une chemise D, formée par l'intervalle compris entre les deux cylindres concentriques C et B, se trouvant ainsi mis hors de service, il fallut se résigner à fonctionner avec les seuls cylindres détendeurs. Voici les dispositions qui furent prises pour continuer la route dans ces conditions : la bielle motrice, le piston, les tiroirs (il y en avait deux) et les bielles d'excentriques des tiroirs du cylindre admetteur, furent démontés ; les orifices de ce cylindre furent bouchés par des tampons en bois, dont le pourtour fut aussi bien calfaté que possible avec du chanvre imbibé de céruse, et ces tampons furent maintenus en place au

moyen de boulons passés dans des barres de fer formant traverses de chaque côté des orifices. D'après cette disposition, la vapeur des chaudières affluait directement dans les boîtes à tiroirs des cylindres détendeurs, et il fut possible de fonctionner dans des conditions relativement satisfaisantes. Le bâtiment put en effet continuer sa route avec une vitesse de 10 nœuds.

Les divers démontages, l'obturation des orifices, etc.; en un mot, le travail préparatoire que nous venons de mentionner, avait nécessité quarante heures.

Lors de l'arrivée du bâtiment à Bordeaux, la réparation définitive fut entreprise et exécutée par les soins de l'atelier des Messageries maritimes. Le piston brisé fut remplacé et le cylindre fut réparé de la manière suivante : les boulons qui reliaient le couvercle A, *fig.* 94, à la collerette du cylindre extérieur B, furent remplacés par des boulons E beaucoup plus longs, qui descendaient se tarauder de 60^{mm} dans l'épaisseur de la fonte du cylindre extérieur. Les deux parties de ce cylindre, qui était fêlé en xx, se trouvaient ainsi reliées par 32 boulons de 32^{mm} de diamètre, ce qui correspondait, pour la plus haute pression de fonctionnement, à un effort de traction inférieur à 3^{kg} par millimètre carré de la section des boulons; sous ce rapport, la solidité était donc parfaitement assurée. Sur les 32 boulons, 24 servirent à la jonction du couvercle avec le cylindre. Tous les boulons portaient d'ailleurs une embase conique venant s'engager dans une fraisure de la collerette du cylindre, et permettaient ainsi de maintenir le serrage des deux portions du cylindre, même quand le couvercle était démonté.

Pour éviter toute fuite, on pratiqua à l'intérieur du cylindre, tout le long de la fissure, une rainure en queue d'aronde dans laquelle fut matée une bande de cuivre rouge g, de 5^{mm} d'épaisseur; la dilatation de ce métal étant supérieure à celle de la fonte, on était certain d'obtenir ainsi une étanchéité parfaite. Comme surcroît de précautions, la fêlure fut recouverte extérieurement par une bande de tôle d'acier H de 6^{mm} d'épaisseur, entourant le cylindre et maintenue par des boulons et des vis à tête fraisée de 22^{mm} de diamètre.

N° 83$_2$ Moyens à employer pour continuer de fonctionner avec un cylindre avarié, dans les machines ordinaires à trois cylindres et dans les machines Woolf ou Compound. — Nous avons expliqué au n° 187$_2$ du *G^d Traité*, la manière de procéder pour fonctionner avec un cylindre unique dans une machine ordinaire à deux cylindres. Nous allons successivement passer en revue les divers types des nouvelles machines, et examiner pour chacun d'eux, les moyens susceptibles d'être employés pour continuer de fonctionner dans le cas où l'un des cylindres serait mis hors de service.

1° *Cas d'une machine à trois cylindres indépendants.* — Supposons chacun de ces cylindres muni d'un condenseur et d'une pompe à air. En pareille circon-

stance, quelque soit d'ailleurs le cylindre mis hors de service, on pourra fonctionner en exécutant les manœuvres suivantes :

Démonter la grande bielle, et la bielle de tiroir du cylindre avarié ; caler le piston dans son cylindre afin de l'empêcher d'aller au roulis ; placer le tiroir à mi-course et le caler dans cette position ; maintenir close la valve de vapeur particulière au cylindre avarié, s'il en existe une ; et enfin, ouvrir les purges des deux extrémités du cylindre, afin que la vapeur qui pourrait pénétrer dans ce récipient puisse s'écouler dans la cale au fur et à mesure.

Les deux machines intactes fonctionneront alors d'une façon assez régulière malgré le calage à 120° des manivelles, à la condition toutefois que la période d'introduction fixe ne tombe pas au-dessous de 0,70. Dans le cas où cette introduction serait inférieure à cette dernière valeur, le renversement de marche pourrait ne pas être assuré d'une façon absolue, notamment quand l'une des machines serait à son point mort et que l'autre (qui serait alors à 60° de son point mort de nom contraire) devrait tourner dans le sens voulu pour atteindre ce point mort.

En effet, pour une semblable position, ni l'une ni l'autre des machines ne saurait déterminer le mouvement, et il faudrait par suite, manœuvrer la mise en train de façon à produire le mouvement en sens inverse, puis renverser brusquement la marche dès que l'arbre se serait déplacé de 30° à 40°.

A part l'inconvénient que nous venons de signaler, et une fois le mouvement déterminé, la rotation s'effectuera dans des conditions, sinon très-satisfaisantes, du moins très-acceptables. — Il va de soi que le cas que nous venons d'examiner, serait parfaitement applicable pour une machine Woolf à trois paires de cylindres bout à bout ; car ce dernier type de machine se rapporte, au point de vue du calage des manivelles, à une machine à trois cylindres indépendants.

2° *Cas d'une machine Woolf, à trois cylindres côte à côte points morts à* 90° *et* 135°, type actuellement très-répandu dans la marine militaire. — Supposons d'abord que le cylindre admetteur soit mis hors de service. Comme chacun des pistons des cylindres détendeurs conduit le piston de la pompe à air du condenseur correspondant, il suffira, pour fonctionner avec les seuls cylindres détendeurs, de prendre les dispositions suivantes :

Démonter la grande bielle du cylindre admetteur et caler ou démonter le piston de ce même cylindre ; enlever le tiroir milieu de sa boîte, de manière à établir une communication directe entre le tuyau d'arrivée de vapeur des chaudières et les deux conduits d'évacuation du cylindre admetteur aux cylindres détendeurs ; boucher hermétiquement les orifices du cylindre admetteur, au moyen de tampons en bois calfatés avec soin et tenus par des vis, des coins et des épontilles placées dans l'intérieur du cylindre ; obturer avec des rondelles pleines les trous de passage de la tige de tiroir du même cylindre ; enfin, maintenir ses purges ouvertes afin que la vapeur qui pourrait pénétrer dans le cylindre admetteur puisse s'écouler dans la cale. Toutefois, si les orifices n'étaient pas suffisamment bien bouchés, et que les fuites de vapeur fussent importantes, on fermerait les purges du cylindre admetteur.

Ces dispositions prises, la vapeur venant des chaudières pourra traverser la boîte à tiroir du cylindre admetteur, et se rendra dans les boîtes à tiroir des cylindres détendeurs; on se trouvera de la sorte, par le fait du calage à 90° des manivelles des cylindres détendeurs, ramené au cas d'une machine ordinaire à deux cylindres.

Il importe de remarquer que la machine développera toute sa puissance; mais comme le degré de détente est de beaucoup trop faible avec l'introduction directe dans les cylindres détendeurs, on sera obligé de fonctionner avec une ouverture de valve réduite. Par suite de cette réduction d'ouverture de la valve, et en raison du volume de la boîte à tiroir du cylindre admetteur et des tuyaux d'évacuation de ce cylindre, la pression initiale dans les cylindres détendeurs sera notablement inférieure à la pression au tuyau de vapeur. Cette circonstance sera avantageuse, car les pièces de la transmission de mouvement supporteront un moins grand effort.

Dans le cas où ce serait l'un des cylindres détendeurs qui se trouverait hors de service, il sera encore possible de continuer à fonctionner, sans un trop grand travail préparatoire, s'il existe deux soupapes distinctes d'introduction directe dans les cylindres détendeurs. — Si par exemple le cylindre arrière est hors de service, le fonctionnement au moyen du cylindre admetteur et du cylindre avant, pourra avoir lieu dans des conditions satisfaisantes, en prenant les dispositions suivantes :

Démonter la bielle du tiroir du cylindre avarié; sortir le piston de cette machine de son cylindre, s'il est rompu; dans le cas contraire, le laisser se mouvoir si l'on ne craint ni sa rupture, ni une aggravation des avaries du cylindre; laisser au moins les tiges du piston arrière en prise avec la traverse et la grande bielle toute montée, afin que la pompe à air puisse fonctionner; enlever le tiroir de sa boîte, puis boucher les orifices du cylindre et le trou de passage de la tige de tiroir; enfin, enlever le conduit de communication du cylindre admetteur avec la boîte à tiroir de la machine avant, et fermer les deux boîtes à tiroir par un joint plein.

Par ces dispositions, la machine sera ramenée à une machine à deux cylindres dans laquelle le calage des manivelles laissera à désirer, il est vrai, mais qui fonctionnera malgré tout dans des conditions passables. La vapeur de la chaudière sera directement admise dans la boîte à tiroir du cylindre avant, au moyen de la soupape d'introduction directe dans ce cylindre; l'évacuation s'effectuera comme lors du fonctionnement normal. Quant au cylindre admetteur, il recevra sa vapeur comme à l'ordinaire, et son évacuation s'effectuera dans le condenseur de la machine arrière en traversant la boîte à tiroir de ce dernier cylindre.

La valve de prise de vapeur du cylindre milieu devra être tenue très-peu ouverte; au contraire, la valve d'introduction directe du cylindre détendeur devra être tenue ouverte en grand.

Si la machine ne possède qu'une seule soupape d'introduction directe, venant déboucher dans le conduit d'évacuation du cylindre admetteur, ainsi que cela se rencontre dans un grand nombre de machines, il sera nécessaire, pour le cas d'un cylindre détendeur hors de service, de déplacer cette

soupape, ou de la faire communiquer directement avec la boîte à tiroir du cylindre détendeur en bon état, en suivant par ailleurs la ligne de conduite que nous avons tracée.

3° *Cas d'une machine Woolf, à deux paires de cylindres bout à bout points morts à 90°.* — Supposons que l'un des cylindres admetteurs soit hors de service. Deux procédés peuvent être employés : l'un, consistant à fonctionner avec une seule paire de cylindres; l'autre, à fonctionner avec la paire de cylindres intacte et avec le cylindre détendeur dont le cylindre admetteur est avarié. Les dispositions à prendre, si l'on fait usage du premier procédé, sont très-simples et peuvent s'exécuter rapidement; il suffit pour cela de démonter la grande bielle, ainsi que les organes de la transmission de mouvement des tiroirs de la paire de cylindres à supprimer; puis d'établir, soit sur les tourteaux d'entraînement, soit sur la roue du vireur, des contre-poids solidement fixés, obligeant, en quelque sorte, la machine unique à stopper dans le voisinage de sa mi-course. Cette dernière mesure est indispensable pour assurer la mise en marche dans toutes les circonstances.

Il va de soi que la puissance de la machine se trouvera réduite de moitié, et que l'on ne devra mettre en fonction que la moitié de l'appareil évaporatoire.

Le deuxième procédé, consistant à faire usage de la paire de cylindres intacte et du cylindre détendeur dont le cylindre admetteur est avarié, nécessite un travail préparatoire plus long; mais ce procédé est plus avantageux, tant au point de vue de la puissance que conserve la machine, qu'au point de vue de la régularité de la rotation et de la sûreté de la mise en marche. Les dispositions à prendre dans ce cas, sont les suivantes :

Sortir le piston du petit cylindre avarié; enlever son tiroir et boucher les orifices, afin que la vapeur arrivant de la chaudière, puisse se rendre directement dans la boîte à tiroir du grand cylindre.

Si le plateau du petit cylindre n'est pas avarié, et que la tige, commune aux deux pistons, ne soit pas faussée, il n'y aura pas lieu de démonter cette tige; mais si elle était faussée, il faudrait absolument l'enlever pour la redresser. — Toutefois, dans les machines horizontales à bielle en retour, la tige qui relie les deux pistons étant indépendante de la transmission de mouvement, cette tige pourra être enlevée si elle est faussée, sans qu'on ait besoin de la redresser; il suffira de fermer par une rondelle pleine, faite avec une double épaisseur de tôle de chaudière, le trou de passage de cette tige dans le plateau du grand cylindre.

En marche, il sera nécessaire d'étrangler fortement la vapeur que le registre du cylindre détendeur introduira directement, car, sans cette précaution, on ne pourrait pas tenir la pression aux chaudières, et ce cylindre détendeur produirait un trop grand travail.

Dans les conditions de fonctionnement que nous venons d'indiquer, la machine conserve toute sa puissance.

Dans le cas d'une avarie de cylindre détendeur, on pourrait enlever le tiroir de ce cylindre et boucher ses orifices, afin que l'évacuation du cylindre admetteur se fasse directement au condenseur. Mais si l'avarie porte sur la transmission

de mouvement, il faut condamner la paire de cylindres avariée et fonctionner avec la paire intacte.

REMARQUE. — Les machines à trois ou à quatre paires de cylindres rentrent dans les cas que nous venons d'examiner au présent article.

4° *Cas d'une machine Woolf, à deux cylindres côte à côte points morts à 90°.* — Quel que soit le cylindre paralysé, il ne reste que l'unique ressource d'isoler le cylindre avarié et de fonctionner avec l'autre. On peut ainsi fonctionner avec le cylindre détendeur introduisant directement, et dans ce cas, la machine conserve toute sa puissance; mais il faut étrangler la vapeur par la valve. Ou bien fonctionner avec le cylindre admetteur évacuant directement au condenseur; dans ce cas, la puissance est considérablement réduite, et il faut marcher avec la valve ouverte en grand.

REMARQUE GÉNÉRALE. — Toute avarie irréparable d'un cylindre admetteur de machine Woolf entraîne la suppression de fonctionnement de ce cylindre. — Pour les cylindres détendeurs, l'avarie irréparable d'un couvercle ou d'un fond, mais permettant de faire fonctionner le cylindre comme machine atmosphérique, entraîne la suppression du cylindre admetteur correspondant. Cela tient à ce que l'une des évacuations de ce cylindre n'aurait pas son introduction correspondante au cylindre détendeur. Toutefois, avec les machines à trois cylindres, il y aurait encore moyen de conserver le cylindre admetteur, parce que la vapeur de ce cylindre se distribue à la fois dans les deux cylindres détendeurs. Le fonctionnement sera moins bon que si ce cylindre admetteur était supprimé, mais la machine pourra être mise plus rapidement en état de fonctionner.

N° 83_3 Avaries des tiroirs. — Ces avaries ont été examinées au n° 188_1 du *Gd Traité*. Dans la plupart des machines actuelles, les barrettes des tiroirs de distribution et de détente, les coussinets, les patins de glissière, les bagues métalliques des pistons, etc., en un mot, la majeure partie des pièces frottantes sont garnies d'antifriction. Il est important que les mécaniciens connaissent parfaitement la manière de procéder pour remplacer ce métal avec les seules ressources du bord, soit en cas d'usure, soit en cas d'arrachement.

Voici le procédé employé par M. *Brun*, mécanicien principal, à bord de la corvette cuirassée la *Belliqueuse*, en station dans les mers de Chine et du Japon (1872-1874), pour réantifrictionner les tiroirs.

Les deux tiroirs de distribution avaient été antifrictionnés par les ateliers du port de Toulon en 1871 et 1872; mais, pendant les deux expériences faites à la suite de cette réparation, les garnitures de tiroirs furent tellement serrées, dans le but d'obtenir un meilleur vide, qu'il devint très-difficile de manœuvrer la mise en train à bras lorsque la machine fut stoppée. Les tiroirs furent visités après ces expériences et tout sembla être resté en bon état, de sorte que le bâtiment reçut l'ordre de partir. — Le serrage exagéré effectué pendant les

essais, avait profondément ébranlé l'antifriction au point que, bien avant l'arrivée au Japon on trouva, en visitant les tiroirs, des morceaux d'antifriction qui s'étaient détachés. — Vers la fin de l'année 1873, après une navigation très-active sur les côtes de la Chine et dans le nord du Japon, le tiroir de la machine avant ne possédait plus, comme antifriction, qu'un encadrement de quelques centimètres sur le bord de ses barettes; toute la partie milieu était complétement dégarnie; le tiroir arrière, quoique en moins mauvais état, avait également besoin d'être réantifrictionné.

La *Belliqueuse* se trouvait à *Yokohama*, port situé à peu de distance de l'arsenal de *Yokoska* où l'on eût pu trouver toutes les ressources nécessaires; mais le commandant manifesta le désir de faire exécuter ce travail avec les seules ressources du bord. En conséquence, le tiroir de la machine avant fut sorti de sa boîte et transporté dans la chambre de chauffe, où l'on avait préalablement fait descendre la forge; l'antifriction restant encore sur le tiroir fut enlevée au burin et les queues d'arondes destinées à retenir le métal furent soigneusement nettoyées et décapées, puis étamées. L'étamage fut exécuté en faisant d'abord chauffer le tiroir sur un petit feu de charbon de bois, de manière à faire sortir les matières grasses qui avaient pu pénétrer dans les pores; puis lorsque l'on supposa qu'il ne restait plus d'huile, on lava les parties destinées à recevoir l'étain avec une dissolution d'acide muriatique préalablement décomposée; et enfin le tiroir fut chauffé et étamé.

On fit confectionner un encadrement en bois pour chacun des tiroirs; ces cadres bien ajustés et les divers morceaux, réunis au moyen de vis à bois, furent fortement appliqués à l'aide de serre-joints pour empêcher l'antifriction de couler à l'extérieur.

On fit, en outre, confectionner une poche en tôle pour la fusion et la coulée; les dimensions de cette poche permettaient de mettre en fusion, une quantité d'antifriction, à peu près double de celle qui était nécessaire à l'exécution du travail en cours.

Les barettes ayant été étamées, les cadres en bois mis en place après avoir chauffé les tiroirs à 90° ou 100°, ces derniers furent calés de manière que leur table fût à peu près horizontale. Pendant ces préparatifs l'antifriction fut mise en fusion sur un feu de forge, et la coulée eût lieu dès que la température du métal fut assez élevée pour enflammer une feuille de papier blanc. — La couche de métal étendue sur les barettes, était de 6 à 7^{mm} plus forte que celle qui devait rester; il était nécessaire qu'il en fût ainsi, afin que l'on pût enlever la crasse qui surnage toujours lors de la coulée. Après refroidissement, cet excès de métal fut enlevé au bec-d'âne et au burin, en ayant soin, pour ne pas l'ébranler, de n'employer que des outils très-fins et coupant bien sous l'action de faibles coups de marteau. Une fois la pièce dressée au burin, l'opération fut continuée à la lime et au grattoir, jusqu'à ce qu'une règle pût s'appliquer exactement dans tous les sens; puis, le tiroir fut introduit dans sa boîte et promené sur les plaques frottantes préalablement enduites d'ocre rouge délayée dans de l'huile; on sortait ensuite le tiroir, et on passait le grattoir partout ou l'ocre rouge avait laissé sa trace. Cette dernière opération fut répétée trois ou quatre fois pour terminer le dressage.

Il existait quelques petites soufflures sans importance sur les barettes des deux tiroirs, mais il n'y avait pas lieu de s'en préoccuper; on se contenta d'arrondir les bords de ces soufflures.

La *Belliqueuse* fit la traversée du Japon en France à la vapeur, et à l'arrivée à Toulon, l'antifriction des tiroirs était en parfait état; il n'y avait pas la moindre trace de gerçures et l'usure était insignifiante.

N° 84. — 1. Avaries dans les condenseurs par mélange. — 2. Avaries dans les condenseurs par surface et leurs organes. — 3. Transformation d'un condenseur par surface en condenseur par mélange. Transformation d'une machine avariée en machine sans condensation. — 4. Avarie d'une tige de pompe à air.

N° 84_1 Avaries dans les condenseurs par mélange. — Les principales avaries auxquelles sont exposés les condenseurs par mélange, ont été examinées pour la plupart, au n° 189_1 du *G^d Traité*. Il y a peu de chose à ajouter aux divers cas spécifiés dans ce numéro; toutefois, nous signalerons les deux avaries suivantes.

Rentrée d'air dans le condenseur. — Sur l'aviso le *Grand-Bassam*, dont la machine était du système oscillant avec condenseur unique, le fond du condenseur reposait presque sur les varangues. Pendant la construction, on avait percé un trou à la partie inférieure du condenseur pour recevoir un robinet de vidange. Ce robinet avait été supprimé lors du montage, et le trou était bouché par une plaque de fer tenue par quatre vis. L'humidité de la cale avait fait ronger les quatre vis et la plaque, de sorte que pendant une purge du condenseur, la plaque était partie et que l'eau se déversait dans la cale. A la mise en marche, le vide s'établissait tant que l'eau de la cale bouchait l'orifice; mais comme cette eau était aspirée par le condenseur, le vide tombait au bout de 10 ou 12 minutes, dès que l'orifice était à découvert. Après bien des recherches, l'avarie fut reconnue en injectant dans le condenseur pendant que celui-ci était ouvert. Le trou fut bouché avec une cheville de bois, placée de dehors en dedans, emmanchée au bout de longues tenailles et enfoncée à l'aide de coins, dans le genre de ce qui est représenté par la *fig.* 15, *pl.* XXIV, du *G^d Traité*.

Rupture de la paroi commune au condenseur et à la bâche. — En mai 1870, l'*Européen* faisait des essais sur la rade de Toulon, au moment de son départ pour le Sénégal. L'obturateur de décharge fut fermé pendant un stoppage, et on oublia de le rouvrir lors de la mise en marche.

La machine avait à peine fait quatre ou cinq tours, qu'une violente détonation se fit entendre dans le condenseur et que le vide tomba complétement. La machine fut immédiatement stoppée, et l'on procéda à la visite du condenseur. — La cloison de séparation de la bâche et du condenseur était arrachée, et la plus grande partie de cette cloison était tombée dans le condenseur, où elle

s'était rompue en plusieurs morceaux. Cette cloison était évidemment celle des parois de la bâche qui supportait la plus forte pression par suite du vide du condenseur. — Fort heureusement, on put stopper assez à temps pour éviter de nouvelles avaries. — Il restait tout autour du trou une largeur de matière suffisante pour permettre d'y percer des trous de 20mm, distants l'un de l'autre de 7 à 8cm, sans cela; il eût fallu cintrer et fixer une cornière pour servir de point d'appui à la cloison que l'on allait remplacer.

La réparation fut entreprise et exécutée par les constructions navales. Voici les procédés employés : On prit un gabarit exact de la forme primitive de la cloison ; puis on en fit une de même forme avec de la tôle de chaudière ; seulement on fut dans l'obligation de la confectionner en trois morceaux, car le plus grand orifice donnant accès dans la bâche n'aurait pas pu livrer passage à une pièce de la dimension du trou. Ces trois morceaux furent d'abord ajustés à franc-bord, leur assemblage devant s'exécuter au moyen de cache-joints ; les morceaux une fois préparés, furent présentés à poste avec les cache-joints pour pouvoir tracer les trous. Enfin les plaques toutes disposées furent rivetées dans l'intérieur même du condenseur, et la pièce fut montée au moyen de boulons, après avoir pris la précaution d'interposer une couche de minium entre cette pièce et son assise.

— Pour donner à la tôle, ainsi rapportée, une plus grande résistance, et l'empêcher de faire soufflet, deux cornières furent rivetées dans le sens de sa plus grande largeur ; et, en outre, ces cornières furent utilisées pour servir d'armatures à des tirants venant se relier à la face opposée de la bâche.

La réparation ainsi exécutée présentait toutes les garanties désirables de solidité ; aussi le bâtiment put-il exécuter sans encombre son voyage du Sénégal.

N° 84_3 Avaries dans les condenseurs à surface et leurs organes. — Les avaries des condenseurs à surface consistent :

1° Dans les rentrées de l'eau de circulation dans le condenseur, soit par les joints des tubes sur les plaques de tête, soit par les joints de ces plaques, soit par la rupture des tubes ;

2° Dans la perforation des parois et principalement des parois inférieures, sous l'influence de l'oxydation provenant de l'humidité constante de la cale, et de l'effet galvanique auquel ils sont exposés par la présence des organes en cuivre qui sont logés dans leur intérieur ;

3° Dans la rupture des coquilles ou des cloisons servant à changer la direction des courants de l'eau de circulation. Ces ruptures sont habituellement occasionnées par le fait du choc résultant de l'intermittence du refoulement, dans le cas où les pompes de circulation sont des pompes ordinaires ;

4° Dans la rupture d'un certain nombre de clapets des pompes à air, ou des pompes de circulation.

I. — Les rentrées d'eau de circulation dans la chambre à vapeur du condenseur, soit par les joints des tubes, soit par le fait de la rupture de ces tubes, ne présentent pas un bien grand inconvénient, quand ces fuites ne sont pas trop considérables. Elles sont faciles à constater ; il suffit pour cela d'observer simultanément, et pendant un certain temps, le niveau de l'eau dans les chaudières et dans les bâches à eau douce; si le niveau des bâches s'élève, en même temps que celui des chaudières se maintient à bonne hauteur malgré la fermeture du réparateur, il est évident qu'une certaine quantité d'eau de circulation se mélange à la vapeur.

Le seul remède à apporter pendant la marche, à un semblable état de choses, consiste à maintenir le réparateur fermé, à peser l'eau des chaudières de temps en temps, et à pratiquer des extractions plus ou moins abondantes suivant le degré de salure.

Si les fuites sont abondantes, ce dont on se rendra compte par la quantité d'eau que laissera échapper la décharge accidentelle, et par le degré d'ouverture qu'il sera nécessaire de donner au robinet d'extraction pour empêcher la concentration de s'élever, on sera dans l'obligation de chauffer à une pression absolue de 3 atmosphères au plus, afin de rendre les extractions efficaces.

Lors de l'arrivée au mouillage, ou dès que la machine pourra être stoppée, les choses pourront être remises en état sans difficulté, lorsqu'on aura reconnu les parties défectueuses, soit en remplaçant les tubes avariés par ceux de rechange, soit en refaisant les joints s'il y a lieu.

On reconnaîtra les joints ou les tubes qui fuient en procédant de la manière suivante : vider les coquilles et les démonter, boucher le tuyau de décharge accidentelle, puis remplir d'eau la chambre à vapeur du condenseur, soit au moyen d'une pompe à incendie, soit par tout autre moyen, suivant la disposition du tuyautage. L'eau sortira nécessairement par les endroits défectueux et il suffira de les marquer.

II. — Les réparations des parois des condenseurs par surface s'effectueront, comme pour les condenseurs par mélange, au moyen de placards de tôle, renforcés par des cornières s'il y a lieu. Ces placards seront d'ailleurs maintenus sur la partie avariée soit par des vis, soit par des boulons suivant la disposition des pièces. Si l'avarie résultait de la faiblesse générale des parois, ces dernières pourraient être reliées entre elles par des entretoises établies d'une façon intelligente.

III. — On réparerait les coquilles des portes de condenseur au moyen d'équerres en cornière et de plaques de tôle tenues par des boulons ou des vis suivant la commodité. Lorsque les portes ont une grande étendue et qu'elles font le soufflet à chaque refoulement de la pompe de circulation, il faut les consolider au moyen de tirants. A cet effet, on emploie des barres de fer rond, d'une longueur suffisante pour traverser le condenseur et les portes, et on fixe ces tirants à la place de quelques tubes. Il sont tenus sur les plaques de tête au moyen d'écrous intérieurs et extérieurs, on maintient les portes au moyen d'écrous extérieurs que l'on serre d'ailleurs modérément et que l'on goupille pour les empêcher de se desserrer. — S'il y avait impossibilité de passer ces longs tirants faits d'une seule pièce, on les confectionnerait en deux

morceaux dont les bouts taraudés seraient joints, dans le condenseur, au moyen d'un long écrou.

IV. — Les clapets des pompes à air et ceux des pompes de circulation (lorsque ces dernières sont des pompes ordinaires mues par la machine), sont généralement en caoutchouc, et les avaries auxquelles ils sont exposés consistent en leur usure ou leur rupture. Les clapets des pompes à air sont, en outre, détériorés par le fait de leur contact avec les matières grasses ayant servi au lubrifiage des cylindres. L'huile minérale de *Crane*, très employée en Angleterre pour le graissage des cylindres dans les machines pourvues de condenseurs à surface, et qui a également été employée sur quelques bâtiments français, produit un très bon effet au point de vue de l'absence des dépôts dans les condenseurs et les chaudières; mais elle a l'inconvénient de faire gonfler le caoutchouc au point d'empêcher le fonctionnement des clapets, si l'on ne prend préalablement le soin de leur laisser une grande liberté. — Lorsque les clapets sont usés ou avariés, on les remplace par des clapets de rechange, ou par des clapets de fortune confectionnés soit avec du cuir, soit avec de la toile à voile (n° 190_2 du *G^d Traité*).

N° 84_3 Transformation d'un condenseur par surface en condenseur par mélange. — On peut être appelé à transformer un condenseur par surface en condenseur par mélange, à la suite d'une avarie irréparable de la pompe de circulation. Certaines machines sont disposées pour que l'on puisse facilement effectuer cette transformation sans qu'il soit besoin d'effectuer aucun démontage. Mais un grand nombre de nos appareils ne sont pas dans ce cas, et notamment ceux qui datent d'une dizaine d'années. Occupons-nous de ces derniers.

En cas d'avarie de la pompe de circulation on pourrait, suivant les installations de la machine, employer l'un ou l'autre des procédés suivants : 1° disposer dans la chambre à vapeur du condenseur, et près du débouché du tuyau d'évacuation, un tuyau percé comme un appendice ordinaire d'injection par mélange, qui pourrait être greffé sur une prise d'eau quelconque, ou sur le tuyau de refoulement du petit cheval; 2° dans certaines machines, suivant la disposition du réparateur, cet appareil peut également être utilisé pour le cas qui nous occupe, lorsque son débouché dans le condenseur est à proximité du tuyau d'arrivée de vapeur et que la section du robinet est assez grande; 3° on pourra encore percer ou découper quelques-uns des tubes voisins du débouché du tuyau d'arrivée de vapeur et régler l'arrivée de l'eau soit par la prise d'eau, soit par l'obturateur du tuyau de décharge.

Il va de soi que, dans tous les cas, il faut fermer par un joint plein la communication de la pompe de circulation avec le condenseur, lorsque c'est le cylindre de la pompe qui est avarié et que l'eau se déverse dans la cale. L'eau d'injection est alors amenée par le tuyau de décharge.

Quoi qu'il en soit, la pompe à air agirait alors comme dans les condenseurs par mélange. La décharge aura lieu par le tuyau de décharge accidentelle.

Ce dernier tuyau ayant en général une très-faible section, le travail de refoulement de la pompe à air se trouverait considérablement accru, et, en outre, le volume engendré par les pistons des pompes à air, dans ces machines, étant bien moindre qu'il ne conviendrait, on sera dans l'obligation de diminuer la dépense de vapeur afin de réduire la quantité d'eau d'injection.—L'eau d'alimentation étant salée, il faudra nécessairement que la pression aux chaudières soit réduite et que l'on pratique des extractions comme dans les chaudières à moyenne pression alimentées à l'eau de mer.

Transformation d'une machine avariée en machine sans condensation. — Dans le cas d'une avarie irréparable de la pompe à air, il faut fonctionner sans condensation, en prenant des dispositions semblables à celles qui sont indiquées au n° 189_3 du *G^d Traité*. — Mais dans les machines Woolf, le degré de détente est toujours réglé pour que la pression initiale au cylindre détendeur dépasse de peu une atmosphère; par suite, avec l'évacuation en plein air, le ou les cylindres détendeurs travailleraient fort peu, et il arriverait même des moments où ils feraient un travail négatif. Dans ces conditions, il faut supprimer le fonctionnement des cylindres admetteurs, et introduire directement dans les cylindres détendeurs. Dans le cas d'une machine Compound à deux cylindres côte à côte, l'appareil sera réduit à un seul cylindre.

Il va de soi que l'alimentation sera effectuée à l'aide du petit cheval et avec de l'eau de la mer. Dans ces conditions, si la machine est à haute pression, il sera prudent d'abaisser la tension de régime, de manière à rendre les extractions efficaces.

Au lieu d'évacuer en plein air, on peut condenser la vapeur à la pression atmosphérique, pourvu que la pompe de circulation soit intacte en agissant comme il est indiqué ci-après.

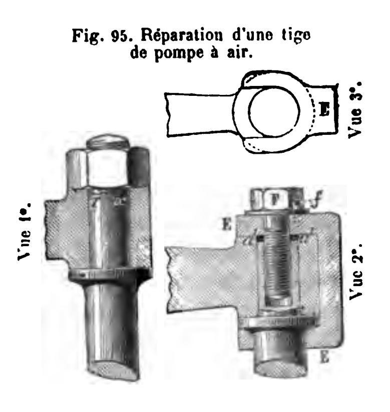
N° 84_4 Avarie d'une tige de pompe à air. — Nous citerons comme exemple de ce genre d'avarie, celle qui est survenue sur l'aviso l'*Elan*, le 17 janvier 1878.

Ce bâtiment qui est affecté à l'école de pilotage des côtes de la Manche, se rendait à Morlaix, et la machine fonctionnait depuis 7 heures du matin à la vitesse de 105 à 110 tours, lorsque vers 4 heures du soir, un choc très-violent se fit entendre dans la machine avant. On stoppa immédiatement, et l'on s'aperçut que la tige de la pompe à air de cette machine s'était rompue suivant *xx*, *fig.* 95, *vue* 1°, dans la partie engagée dans la crosse de la tige de piston qui lui communiquait le mouvement.

Au moment de l'accident, le bâtiment se trouvait engagé dans une passe étroite, et il était urgent de se mettre en mesure de fonctionner dans le plus bref délai. Le premier maître mécanicien, M. *Bertrand*, eut l'heureuse inspira-

tion d'employer le procédé suivant, qui ne pouvait manquer de donner de bons résultats. Il fit enlever le fond de la pompe à air et rentrer le piston de cette pompe dans son cylindre, pour que la crosse ne vînt pas heurter la tige; puis il fit soulever un des clapets de pied et ouvrir le robinet de vidange du condenseur. — Ce travail achevé, on remit en marche, et la pompe de circulation fonctionnant bien, l'eau du condenseur se répandait dans la cale où les petits chevaux venaient la puiser pour la renvoyer aux chaudières. Les démontages n'avaient demandé que très-peu de temps, car on put remettre en marche 35 minutes après l'avarie. Le bâtiment atteignit Morlaix; il fit en outre la traversée de Morlaix à Saint-Servan dans ces conditions, et ce n'est que dans ce dernier port que la réparation de la tige fut effectuée. Le seul fait observé par M. Bertrand pendant la traversée de Morlaix à Saint-Servan a été l'alourdissement de marche de la machine de l'avant, par suite de l'absence de vide dans cette machine.

Fig. 95. Réparation d'une tige de pompe à air.



La *fig.* 95, *vues* 2e et 3e, montre clairement les moyens employés pour réparer la tige. La cassure s'était produite en *xx*, presque à fleur de l'écrou; on dressa l'extrémité, et une rondelle *d* fut mise pour remplir l'œil de la crosse d'emmanchement. On forgea un étrier à fourche E, qui vint prendre la tige derrière l'embase tout en s'appuyant, d'autre part, sur la crosse qu'il emprisonnait. L'emmanchement de la tige fut percé et taraudé à 24mm, et un boulon F fut vissé dans ce taraudage; enfin, pour empêcher le desserrage de ce boulon, on vissa un frein *f* dans l'étrier.

N° 85. — 1. Avaries des arbres de couche. — 2. Avarie dans un vilebrequin. — 3. Avarie d'un tronçon de la ligne d'arbres. — 4. Avarie d'un arbre d'hélice.

N° 85_1 Avaries des arbres de couche. — Ainsi qu'il est dit au n° 192_1 du *Gd Traité*, les avaries des arbres de couche sont rarement réparables par les moyens du bord; le plus ordinairement, un arbre de couche rompu ou simplement fêlé ne peut être réparé même avec les ressources d'un arsenal, et il faut le changer.

Il est pourtant possible parfois de continuer à fonctionner avec une partie de l'appareil après la rupture de l'arbre de couche. Nous citerons à ce sujet, la réparation suivante et celle du n° 85_2.

Avarie d'un arbre de couche de machine à roues. — L *Dialmath*, aviso en station sur les côtes du Sénégal, revenait à Gorée après

un voyage à Grand-Bassam. Il se trouvait à environ 100 lieues de Gorée, lorsque l'arbre se rompit au ras de la partie emmanchée dans la manivelle *bâbord* de l'arbre intermédiaire. On stoppa immédiatement, et l'on fut assez heureux pour que cette avarie n'en occasionnât pas d'autres.

Le voyage fut continué à la voile jusqu'à Gorée, et l'arbre fut réparé à bord, avec les faibles ressources dont on disposait dans la colonie.

La machine était rigoureusement celle représentée en *Section* 5, *pl.* V de l'*Atlas* du *Gd Traité*. Ainsi qu'on le voit sur les dessins, il existait une très-grande distance entre le palier de l'arbre intermédiaire et la manivelle, et sur cette partie se trouvait monté l'excentrique du tiroir. Ce fut sur cette partie de l'arbre que le maître mécanicien, M. *Bellot*, entreprit d'emmancher la manivelle. Voici d'ailleurs de quelle manière la réparation fut effectuée.

Le chariot d'excentrique du tiroir fut enlevé et reporté de l'autre côté du palier intermédiaire, en dehors de l'excentrique qui conduisait la pompe alimentaire; et l'arbre du tiroir fut allongé d'une quantité suffisante pour que le bouton d'enclanche vînt en regard de la nouvelle position de l'excentrique. La partie de l'arbre destinée à recevoir la manivelle avait un diamètre supérieur à celui de l'œil de cette dernière pièce; il était par suite nécessaire d'aléser le trou, ou de tourner le bout de l'arbre : on s'arrêta à ce dernier parti; seulement, comme l'unique tour à chariot que possédait l'atelier de Gorée, n'était pas assez fort pour recevoir l'arbre, le maître mécanicien eut l'ingénieuse idée de tourner l'arbre sur place, sans le démonter.

A cet effet, deux madriers, destinés à servir de bancs de tour, furent fixés sur les entablements des paliers, et le chariot du tour de l'atelier fut monté sur ces bancs improvisés. Pour donner le mouvement de rotation à l'arbre, on fit fonctionner la machine de tribord à la vapeur, avec une très-faible pression aux chaudières et en maintenant un assez mauvais vide au condenseur. On eut d'ailleurs la précaution de démonter les aubes et d'équilibrer la roue pour faciliter le passage des points morts. On fit ainsi trois passes d'outil, et on laissa le diamètre de cette partie de l'arbre plus fort que le diamètre de l'œil de la manivelle de un millimètre environ.

La manivelle fut ensuite emmanchée à chaud. Pour cet emmanchement, on fit chauffer l'œil de la manivelle jusqu'au rouge sombre dans un des fourneaux de la chaudière ; puis, à l'aide de palans frappés sur des élingues en chaînes, elle fut hissée à bonne hauteur et mise à son poste sans trop de difficulté. Deux mortaises destinées à recevoir des clavettes, avaient été pratiquées sur l'arbre et dans la manivelle, et ces mortaises servirent de guides pour assurer le calage à 90°; enfin, des clavettes toutes disposées furent enfoncées avant le refroidissement complet de la manivelle. — Quant à la soie, il fallut en confectionner une autre, car l'ancienne se trouvait nécessairement trop courte de toute la quantité dont l'arbre intermédiaire avait été raccourci; cette soie fut faite à l'atelier avec une verge d'ancre.

Après cette réparation, le *Dialmalth* a fait un service très-actif sur la côte d'Afrique, pendant plusieurs années, et la machine s'est toujours parfaitement comportée.

N° 85_2 Avarie dans un vilebrequin. — Le paquebot de la *Compagnie générale transatlantique* l'*Amérique*, dont la machine est représentée en *fig.* 1, *pl.* V, et dont la description est donnée au n° 27_3, a éprouvé, il y a deux ans environ, une avarie excessivement grave par suite de la rupture de la manivelle arrière du vilebrequin arrière. — Voici, d'après le rapport du capitaine de l'*Amérique*, les circonstances dans lesquelles se produisit l'accident, les conséquences qui en résultèrent et les moyens employés par *M. Gravier*, chef mécanicien, pour remettre la machine en état de fonctionner.

D'après toutes les prévisions, la manivelle arrière du vilebrequin arrière, s'est rompue d'abord au ras de l'arbre, et presque parallèlement à son axe; cet accident a probablement eu lieu peu après le passage au point mort haut. Le vilebrequin remonta par le fait de la poussée des deux pistons et atteignit son point mort bas; mais, pendant cette course, les deux parties de la manivelle arrière durent se séparer, et au retour des pistons elles vinrent buter l'une sur l'autre, et occasionnèrent la rupture de l'arbre dans le palier intermédiaire et vers le milieu de la longueur de ce palier. Du même coup, la grande bielle se rompit à quelques centimètres du palier de tête; le piston du grand cylindre se fendit suivant un diamètre, et le fond du petit cylindre fut également fendu autour de la boîte du presse-étoupe. Les pistons demeurés libres dans le cylindre furent projetés violemment jusqu'au haut de course, et le couvercle du petit cylindre fut rompu par le choc qui en résulta. Malgré toute la célérité que l'on apporta pour stopper, les avaries ne pouvaient être conjurées; car elles se sont produites dans la durée d'une demi-révolution.

En somme, lorsque la vapeur qui envahissait la chambre des machines se fut dissipée, et qu'il fut possible de se reconnaître, on constata les avaries suivantes :

L'arbre arrière était cassé en trois morceaux; la grande bielle en deux morceaux; le plateau du petit cylindre fendu autour de la boîte du presse-étoupe; le couvercle du petit cylindre, rompu sur tout le pourtour de sa bride de fixation; la plaque de fondation, fendue en dessous du palier intermédiaire, et le coussinet de ce palier, complétement brisé. En outre, deux boulons des axes de balanciers de pompe à air, et les glissières de ces pompes étaient légèrement avariés, mais pouvaient encore servir; ces dernières avaries étaient insignifiantes comparées à celles précédemment énumérées.

Le vilebrequin nanti de la tête de la bielle était tombé dans la cale après avoir traversé le plancher de la fosse; heureusement que ce plancher, très-épais, avait amorti la chute, et que les débris étaient tombés sur les varangues sans qu'il en soit résulté aucune avarie pour la coque en tôle du bâtiment.

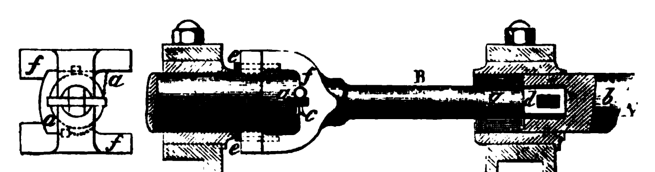
Deux modes de réparation furent discutés et entrepris successivement, le mode primitivement adopté et exécuté n'ayant pas donné de résultats satisfaisants. Le *premier moyen* consistait à se servir de la machine avant en reliant entre eux les tronçons de l'arbre arrière. Le *deuxième moyen* consistait à faire fonctionner la machine arrière seule, en transportant le vilebrequin de la machine avant sur l'arrière, et en se servant des pistons et couvercles non avariés de la machine avant pour les adapter à la machine de l'arrière.

Le premier moyen fut d'abord entrepris, parce que son exécution semblait

plus rapide que celle du deuxième moyen. La principale cause qui fit d'abord rejeter le deuxième mode de réparation, provenait de ce que l'arbre à vilebrequin de la machine avant n'avait pas les mêmes dimensions que celui de l'arrière, et que, par suite, il ne pouvait pas s'adapter directement entre les paliers ; de plus, cet arbre était trop court sur l'avant, et il ne présentait aucune partie susceptible de recevoir les excentriques de tiroir. Le premier mode de réparation, qui ne nécessitait que la réunion des deux tronçons de l'arbre, fut donc entrepris et exécuté de la manière suivante, *fig.* 96.

Le plus long débris de la bielle arrière B était la seule pièce de fer qui présentât des garanties sérieuses de solidité ; aussi s'en servit-on pour cette réparation. A cet effet, l'extrémité à fourche *f* qui était articulée sur la traverse, fut burinée pour s'ajuster à l'aide de clavettes *e*, *e*, *c*, sur les faces parallèles du tronçon *a* de la manivelle arrière. L'autre partie cylindrique *g* fut coupée de longueur convenable, et emboîtée dans un trou pratiqué sur l'extrémité *b* de l'autre tronçon de l'arbre. Afin de déterminer l'entraînement, la partie de la

Fig. 96. Réparation d'un arbre moteur brisé.



bielle engagée dans l'arbre fut aplatie sur deux faces parallèles, et on mit de plus une clavette *d*. — Ce travail, qui aurait demandé une forte machine à percer, voire même une machine à raboter, a été exécuté avec une petite machine à percer, des burins et des marteaux, et a nécessité onze jours et demi de travail non interrompu.

L'appareil devant fonctionner avec une seule machine, et la période d'introduction fixe étant relativement faible, il était nécessaire d'équilibrer l'arbre pour que la machine pût franchir son point mort sans difficulté. En outre, afin d'assurer la mise en marche, il était indispensable que la machine eût une tendance à stopper vers le milieu de sa course, afin que l'on pût passer d'une marche à l'autre sans être obligé d'employer le vireur. Ce résultat a été obtenu en déplaçant la roue du vireur, laquelle était garnie, sur un tiers de son pourtour, d'un remplissage en plomb destiné à l'équilibration des manivelles.

La réparation que nous venons d'indiquer ayant été effectuée, on procéda à des essais à la pression de 3^{at}, deux corps de chaudières seulement ayant été allumés. La machine fit environ 200 tours dans de bonnes conditions, mais peu à peu, il se produisit des chocs qui devinrent de plus en plus violents, et qui obligèrent à stopper après que la machine eut fourni 600 tours environ.

L'examen des pièces fit voir que les clavettes de la fourche s'étaient mâchées, et que la paroi extérieure du trou pratiqué dans le tronçon d'arbre était

étoilée ; enfin, que les parties aplaties du fût de la bielle étaient mattées du côté de la marche avant. Il fallut donc renoncer à utiliser la machine avant de cette manière. Le deuxième mode de réparation fut alors entrepris et exécuté de la manière suivante :

Le grand piston de la machine arrière était fendu dans sa partie inférieure, à peu près diamétralement de l'avant à l'arrière; mais la cassure ne se trouvait marquée en dessus que sur une longueur de 12^{cm} environ. Ce piston fut consolidé sur sa partie supérieure au moyen d'une pièce de fer de 2^{cm} d'épaisseur, taillée en queue d'aronde à ses extrémités, encastrée de 12^{mm} dans le piston et tenue au moyen de quatre vis de 25^{mm} de diamètre. En outre, pour limiter la cassure, un trou de 25^{mm} fut pratiqué sur son extrémité, et reçut un goujon taraudé. Le dessous du piston fut consolidé par deux plaques en tôle d'acier de 10^{mm}, et chacune de ces plaques fut fixée par vingt vis à tête fraisée de 25^{mm}. L'espace neutre du cylindre ayant été reconnu suffisant, il n'y eut pas lieu de modifier la position des plateaux.

Le fond du petit cylindre, qui était fendu tout autour de la boîte à étoupe, fut épontillé par six pièces de bois debout, frettées à chaud, ajustées sous la boîte à étoupe et maintenues haut et bas par des arcs-boutants également en bois. L'épontillage par des pièces de bois bien ajustées et frettées, sembla présenter au chef mécanicien plus de solidité que des équerres en fer, qui auraient nécessité, pour leur application, le perçage et le taraudage de nombreux trous.

Le couvercle du petit cylindre arrière fut remplacé par celui du petit cylindre avant.

La plaque de fondation, qui était fendue de haut en bas dans le fond du palier intermédiaire, fut simplement épontillée sur les varangues par une forte pièce de bois debout, découpée pour prendre la forme du dessous de cette plaque; de cette manière, l'effort de flexion se trouvait supporté par les fonds du navire.

Le vilebrequin arrière, qui était cassé en trois morceaux, fut enlevé pour faire place au vilebrequin de la machine avant. Les deux vilebrequins avaient été forgés séparément et ils étaient réunis par un tourteau d'assemblage. Le démontage de ces fortes pièces et le transport de l'arbre avant sur les paliers de l'arbre arrière présentaient de sérieuses difficultés, à cause de l'état de la mer qui imprimait au navire des roulis très-violents; aussi, ce travail demanda-t-il relativement beaucoup de temps, en raison des précautions qu'il fallut prendre pour éviter les accidents. — Les coussinets du palier intermédiaire qui avaient été brisés, furent remplacés par ceux du palier de l'arbre avant.

Le tourteau de jonction des deux arbres à vilebrequin, dêvait nécessairement servir à jonctionner le vilebrequin déplacé avec le premier tronçon de la ligne d'arbres; mais la distance entre ce tourteau et le milieu de la soie de manivelle n'était pas tout à fait celle qui convenait; en outre, les portées ne tombaient pas exactement dans les coussinets, de sorte que l'on fut dans l'obligation de rogner 5^{cm} sur l'arrière des coussinets, pour que l'arbre pût s'emboîter dans ces derniers. On dut également rogner une égale longueur sur les coussinets de la tête de bielle pour pouvoir en effectuer le montage. — Enfin, les trous de jonction du tourteau de l'arbre ne correspondant pas avec ceux du tourteau

du premier tronçon de la ligne d'arbres, on fut dans l'obligation de buriner ces derniers trous pour pouvoir effectuer la réunion.

Il restait à prendre les dispositions convenables pour obtenir la conduite du distributeur. L'arbre avant ne se prolongeait que de très-peu en dehors du palier intermédiaire; il était par suite trop court pour recevoir les excentriques. Cette difficulté fut vaincue d'une façon très-ingénieuse; M. *Gravier* eut l'heureuse idée de prolonger cet arbre par l'un des manchons en fonte servant à regarnir les coussinets antifrictionnés. A cet effet, ce manchon, qui était d'ailleurs du même diamètre que l'arbre, fut fixé par son fond à l'extrémité avant de l'arbre, et tenu à l'aide de vis. Les excentriques furent montés sur ce manchon et on les relia à l'arbre au moyen d'équerres.

Un palier de fortune en bois, pourvu d'un coussinet tiré des débris du palier intermédiaire, servit à soutenir l'extrémité du manchon.

A la suite de cette réparation, il fut procédé à des essais qui permirent à l'*Amérique* de marcher pendant deux heures consécutives à la vitesse de 24 tours, sans qu'il se produisît aucun choc. Aussi, le capitaine entreprit-il sans hésiter la traversée de *Queenstown* au *Havre*, qui fut d'ailleurs accomplie d'une façon satisfaisante à la vitesse de 9 nœuds.

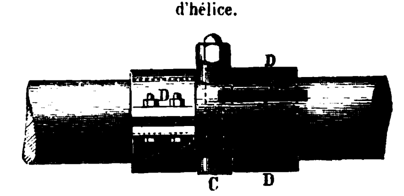
N° 85_3 Avarie d'un tronçon de la ligne d'arbres. — Les tronçons des lignes d'arbres d'hélice sont sujets à des ruptures qui, le plus ordinairement, sont occasionnés par les chocs résultant des changements d'immersion de l'hélice lorsque le bâtiment tangue beaucoup. — En général, les réparations des arbres intermédiaires ne peuvent pas être effectuées d'une manière radicale avec les seules ressources du bord; mais on peut presque toujours effectuer une réparation provisoire permettant d'atteindre un port.

La *fig.* 97 montre la réparation qui fut faite à la suite de la rupture d'un des arbres du tunnel, sur le navire anglais l'*Ethiopia*. L'arbre se rompit par gros temps, le bâtiment se trouvant à 1500 milles environ de *Queenstown*, son port de destination. La cassure s'était produite suivant une section oblique xx et, de plus, le tronçon voisin s'était un peu courbé par le fait d'un arc-boutement qui se produisit au moment de la rupture. — Le peu d'espace libre dans le tunnel, ainsi que les fortes dimensions de l'arbre, qui avait 38^{cm} de diamètre, à l'endroit cassé, rendaient la réparation difficile. De plus, il était impossible de songer à redresser le tronçon cintré : car il eût fallu le faire chauffer au rouge, et cette opération n'était pas praticable.

Le rapprochement ayant été obtenu d'une façon aussi parfaite que possible, à l'aide de crics, de chaînes et de coins, les bavures de la cassure furent soigneusement affleurées. Un trou de 8^{cm} fut alors percé à peu près perpendiculairement au milieu de la section de rupture, et un boulon C de même diamètre fut tourné, logé dans ce trou et serré à bloc, en faisant porter son écrou sur une rondelle dont l'une des faces affectait le cintre de l'arbre. Le boulon C

fut mis et serré à chaud afin de déterminer un rapprochement plus intime. Cela fait, on pratiqua quatre mortaises sur la circonférence de l'arbre par le travers de la fente, et on y ajusta des clavettes en acier *c* de 10^{cm} de largeur sur 20^{mm} d'épaisseur ; ces clavettes furent affleurées, puis maintenues par quatre demi-colliers D fortement serrés sur l'arbre.

Fig. 97. Réparation d'un tronçon d'arbre d'hélice.



Les anciens trous des plateaux de jonction ne concordant plus, par suite de la courbure de l'arbre avarié, de nouveaux trous furent percés dans l'un des collets. — Les paliers voisins de la rupture qui s'étaient rompus au moment de l'avarie, furent réparés au moyen de tôles et de cornières, et les coussinets furent remplacés par des coussinets de fortune.

La réparation de l'*Ethiopia* fut exécutée à la mer en 8 jours et demi pendant lesquels on travailla sans interruption ; le bâtiment atteignit *Queenstown* sans qu'aucune partie de la réparation ait laissé à désirer, et dans ce dernier port, on jugea même inutile d'y faire la moindre modification. Le navire se rendit dans cet état à *Glascow* pour y changer son arbre.

N° 85₄ Avarie d'un arbre d'hélice. — La réparation suivante, également effectuée à la mer sur un arbre de butée, nous paraît assez intéressante pour être mentionnée.

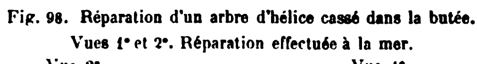
— Deux jours après son départ de Malte, un navire anglais, dont le nom nous échappe, essuya un coup de vent très-violent pendant lequel son arbre de butée se rompit à peu près suivant une section perpendiculaire à l'axe de l'arbre en *xx*, *fig.* 98, *vue* 3°, et immédiatement après le premier collet de l'avant.

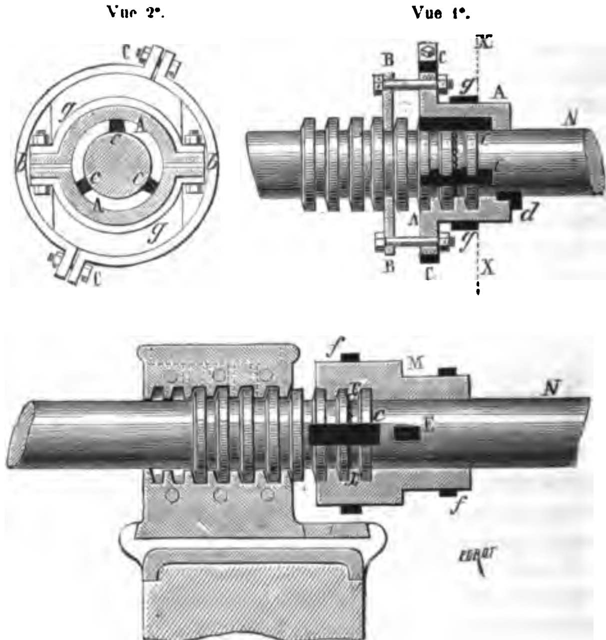
Le bâtiment essaya de mettre à la voile pour atteindre un port quelconque, mais le vent étant tombé complétement, le navire ne gouvernait plus. Le mécanicien entreprit alors la réparation de l'arbre, bien qu'il n'eût à sa disposition que des moyens très-bornés. La machine était du système Compound à pilon, à deux cylindres côte à côte, d'une puissance de 100 chevaux nominaux. L'arbre de butée avait 22^{cm} de diamètre à l'endroit de la rupture, et il portait 8 collets dont 6 seulement se trouvaient logés dans le palier de butée, les deux collets de l'avant restaient en dehors de ce palier.

Le démontage de l'arbre de butée présenta d'assez grandes difficultés à cause du peu de largeur du tunnel ; ce fut une des parties du travail qui prit le plus de temps. Les parties rompues furent rapprochées le plus possible, et l'on pratiqua trois cannelures longitudinales, de 23^{cm} de longueur sur 5^{cm} de largeur et 4^{cm} de profondeur, également espacées sur la circonférence, et on y ajusta trois clavettes *c*, *vues* 1° et 2°. Pour maintenir ces clavettes, destinées à supporter l'effort de torsion, on fit usage d'une boîte à étoupe A, en deux parties, qui fut enlevée d'une cloison étanche du tunnel ; les pattes de jonction, *b*, *vue* 2°, de cette boîte, ne présentant pas de sérieuses garanties de solidité, on eut recours à un collier de mat C, et à une frette *g* pour renforcer la réunion des

deux parties de la boite. Deux demi-colliers B, engagés dans une cannelure de la butée et fixés par quatre boulons sur la boîte A, servirent à serrer l'un contre l'autre les deux tronçons de l'arbre ; enfin trois petites clavettes à mentonnet *d*, furent logées entre l'arbre et la partie avant du manchon.

Le manchon avec ses accessoires recouvrait ainsi complétement cinq collets


Fig. 98. Réparation d'un arbre d'hélice cassé dans la butée.
Vues 1° et 2°. Réparation effectuée à la mer.
Vue 2°. Vue 1°.



Vue 3°. Réparation effectuée par un atelier.

de butée ; il n'en restait que deux qui pussent être logés dans les cannelures du palier, car les boulons de la bride B dépassaient d'une certaine quantité et empêchaient le logement du troisième collet. Les bâtis du palier de butée permettaient de porter ce dernier sur l'arrière d'une quantité suffisante pour recevoir les deux seuls collets libres ; cette opération fut effectuée, et la machine put être mise en marche à une vitesse très-réduite, mais pourtant suffisante pour faire filer 4 à 5 nœuds au bâtiment, et lui permettre d'atteindre le port de Bône sans accident. — La réparation que nous venons d'indiquer ne nécessita que quarante-quatre heures de travail.

Lors de l'arrivée du bâtiment à Bône, le capitaine jugea opportun de faire exécuter une réparation plus sérieuse, lui permettant d'effectuer son retour en Angleterre. Il s'adressa, à cet effet, au directeur des ateliers du chemin de fer, qui fit remplacer la boîte A par un solide manchon M, *vue* 3°, après avoir remplacé les clavettes *c* par d'autres un peu plus larges.

Afin d'obtenir une réunion aussi parfaite que possible, des deux tronçons de l'arbre, on pratiqua, dans ce manchon, trois cannelures embrassant un même nombre de collets, et une clavette diamétrale E servit avec deux frettes *f* et *f'* à compléter la réparation.

Le manchon M ne prenant que trois collets, on put en loger quatre dans le palier de butée. La réparation terminée, on fit des essais qui permirent de fonctionner à 63 tours sans que l'arbre montrât le moindre signe de faiblesse. Le navire effectua sans encombre la traversée de Bône en Angleterre.

CHAPITRE VIII

MONTAGE ET VÉRIFICATION DES NOUVELLES MACHINES.

Chap. VIII, § 1. — Montage des nouvelles machines.

N° 86. — 1. Détermination de l'axe de la ligne d'arbres et des repères de montage. — 2. Montage des pièces fixes. — 3. Montage des pièces mobiles.

N° 86₁ Détermination de l'axe de la ligne d'arbres et des repères de montage. — Nous renverrons le lecteur au n° 201 du *G^d Traité*, pour tout ce qui est relatif à la détermination du plan diamétral, aux intersections de ce plan avec les faces transversales des carlingues et des massifs des paliers, et aux repères à prendre sur les carlingues pour vérifier le montage au fur et à mesure de son avancement.

Pour la détermination de l'axe de la ligne d'arbres, certains monteurs emploient encore le procédé indiqué au n° 201₄ du *G^d Traité*. Mais le plus ordinairement, on se borne maintenant à tendre un fil de soie passant par les deux extrémités connues de l'axe de la ligne d'arbres. Les flèches de ce fil, d'une longueur égale à celle de la ligne d'arbres, ayant été déterminées comme il est dit au problème 1 du n° 200₄ du *G^d Traité*, il suffit de tendre ce même fil entre les deux points extrêmes connus de la ligne d'arbres, au moyen d'un poids égal à celui qui a servi à déterminer les flèches. On cloue ensuite, sur les faces verticales des carlingues, des règles dont les bords se trouvent dans le plan longitudinal et tangentent par suite le fil en question. On porte sur ces règles, au-dessus de chaque point de tangence, les flèches mesurées, et on a autant de points appartenant à l'axe de la ligne d'arbres. — On trace ensuite une parallèle à l'axe de cette ligne d'arbres, en portant sur les règles, des longueurs égales à partir des points de

l'axe que l'on vient de déterminer. Les traces de cette parallèle sont reprises sur des règles horizontales fixées sur des montants latéraux.

Pour la suite des opérations à effectuer, se reporter rigoureusement aux indications du n° 201 du *G^d Traité*.

N° 86_2 Montage des pièces fixes. — La marche à suivre pour la mise en place des pièces fixes n'est pas la même pour tous les systèmes de machines. Voici les principaux cas qui peuvent se présenter.

I. *Machines horizontales à trois cylindres.* — La plupart des machines horizontales à trois cylindres sont montées directement sur les carlingues, sans interposition de plaque de fondation. Il convient par suite d'agir, pour le placement des boulons de fixation et le montage de ce genre de machine, comme il est dit au n° 202_3 du *G^d Traité*, pour le cas d'une machine à deux cylindres. — Les boulons de fixation et les cales de montage étant à leur poste, les cylindres sont amenés dans l'ordre suivant : le cylindre *arrière*, le cylindre *avant* et en dernier lieu, le cylindre *milieu*. Les cylindres extrêmes sont repoussés aussi loin que possible, sur l'avant et sur l'arrière, pour dégager l'emplacement du cylindre milieu. Chaque cylindre repose d'ailleurs sur des tins en bois qui le maintiennent au-dessus des boulons de fondation.

Le cylindre milieu étant descendu, est poussé de suite au-dessus de l'emplacement qu'il doit occuper, de façon que les trous de ses brides se trouvent à l'aplomb des boulons qui doivent servir à le fixer. On amène ensuite, dans l'ordre suivant, et en les laissant reposer sur des tins de bois de chêne, comme les cylindres, les pièces que voici, que l'on place le mieux possible au-dessus des positions respectives qu'elles doivent occuper.

1° Le condenseur arrière ; 2° le condenseur avant ; 3° le bâti-glissière du cylindre milieu qui réunit les condenseurs par leur base ; 4° les bâtis formant palier pour l'arbre de couche, et qui doivent relier les cylindres aux condenseurs et au bâti-glissière. — Les bâtis de l'arbre se placent généralement en travers, près des condenseurs et du bâti-glissière, pour que l'on ne soit pas gêné pour la mise en place des cylindres. — Toutes ces pièces étant descendues à leur poste ou à peu près, les carlingues sont suffisamment chargées pour qu'on puisse commencer le montage, sans avoir à craindre des affaissements ultérieurs qui dérangeraient le parallélisme des axes.

L'arbre de couche s'amène quelquefois avant de commencer le mon-

tage des pièces fixes ; dans ce cas, il est placé dans la chaufferie. D'autres fois, l'arbre n'est amené qu'après le montage des pièces fixes, et dans ce cas, on le met tout de suite en place dans ses paliers. — Il en est de même des divers tronçons de la ligne d'arbres, que l'on place en abord, en les faisant reposer sur des tins, et en les saisissant fortement au moyen de bouts de filin passés dans des crampons fixés sur la muraille, lorsqu'on les amène avant que les divers paliers et l'arbre de l'hélice soient à leur poste.

Le cylindre milieu est la pièce fixe qui se monte la première ; et comme toutes les autres lui sont reliées d'une manière plus ou moins directe, il faut apporter le plus grand soin au montage de ce cylindre. Voici comment procèdent les monteurs d'*Indret*. Le cylindre est soulevé au moyen de quatre verrins hydrauliques ; les tins sont enlevés, puis le cylindre est amené lentement, et dirigé de façon que les boulons de fixation s'enfilent bien dans les trous de ses brides ; on fait reposer ce cylindre sur des coins de montage doubles, disposés pour pouvoir être enfoncés ou retirés à volonté. Après qu'on s'est assuré que l'axe du cylindre est à bonne hauteur et qu'il est perpendiculaire à l'axe de l'arbre, on serre provisoirement les écrous des boulons de fixation.

On fait ensuite glisser horizontalement les cylindres avant et arrière jusqu'à ce que leurs brides de côté viennent toucher celles du cylindre milieu. A ce moment, les cylindres extrêmes sont soulevés au moyen de crics hydrauliques, puis amenés lentement sur des coins de montage. Les coins sont retirés ou enfoncés, tant sous le cylindre milieu que sous les cylindres extrêmes, jusqu'à ce qu'on ait obtenu le double résultat suivant : les axes des trois cylindres étant dans un même plan qui passe par l'axe de l'arbre, sont perpendiculaires à l'axe de cet arbre et leur plan est parallèle au plan repère tracé sur les faces verticales des carlingues. Les boulons de jonction des brides de côté qui relient les cylindres l'un à l'autre, sont alors mis en place et serrés ; on serre ensuite les écrous des boulons de jonction sur les carlingues, en même temps qu'on chasse les coins de montage pour maintenir les axes des cylindres dans le même plan et à bonne hauteur.

Cette première opération terminée, il convient de laisser travailler les carlingues pendant quelques jours, puis de vérifier et de rectifier au besoin le montage des cylindres. On peut alors arrêter les coins de montage, et garnir les intervalles avec du mastic de fonte.

Le montage se continue par la mise en place des bâtis de l'arbre, des condenseurs, du bâti-glissière qui relie les deux condenseurs à leur base, et enfin des tirants et des entretoises qui relient les sommets des condenseurs.

II. *Machines horizontales à cylindres bout à bout.* — Si la machine est à cylindres bout à bout, les petits cylindres, qui sont toujours en abord, doivent être jonctionnés aux grands cylindres avant d'être fixés sur les carlingues. Dans cette dernière opération, on s'assure : 1° si les axes d'une même paire de cylindres se confondent ; 2° si tous les axes sont dans un même plan passant par l'axe de l'arbre ; 3° si ce plan est parallèle au plan de pose et à bonne hauteur au-dessus de lui ; 4° si les axes des cylindres sont perpendiculaires à l'axe de l'arbre.

Les cylindres étant fixés, on procède successivement au montage des bâtis de l'arbre, du bâti-glissière et enfin des condenseurs. Ces diverses opérations s'exécutent comme il est dit au n° 202$_3$ du *G^d Traité.*

III. *Machines à pilon.* — Ces machines possèdent généralement une plaque de fondation comportant les paliers de l'arbre de couche. Sur les bâtiments en bois, les carlingues sont également en bois ; mais sur les bâtiments en fer, les carlingues sont le plus ordinairement en fer, et recouvertes d'une couche de bois de *teack* sur laquelle vient reposer la plaque de fondation, comme on le voit en *fig.* 1, *pl.* V. — Dans l'un ou l'autre de ces deux cas, les opérations préliminaires du montage, telles que : détermination de l'axe de l'arbre, tracé d'un plan parallèle au plan de pose, triquage des carlingues, et enfin tracé des lignes de repère, s'effectuent de la même manière que pour une machine horizontale. — Pour la suite, il faut marquer les traces des plans perpendiculaires à l'axe de l'arbre et passant par les axes des cylindres.

Le tracé de la position des boulons de fixation de la plaque de fondation et la mise en place de ces boulons ne présentent rien de particulier. Dès que ces boulons sont en place, la plaque de fondation est amenée à son poste, sur les cales de montage, en faisant coïncider ses lignes de repère avec celles qui sont tracées sur les carlingues. — De la bonne position de la plaque de fondation dépend tout le montage ; aussi, il importe de vérifier cette plaque avec soin. A cet effet, on s'assure :

1° Si les coussinets étant en poste, leurs centres se trouvent sur l'axe de l'arbre.

2° Si le plan formé par les parties dressées sur lesquelles doivent

reposer les bâtis des cylindres, est bien parallèle au plan repère tracé sur les faces verticales des carlingues.

Ces deux opérations ne présentent aucune difficulté ; on agit simultanément sur les coins de montage et sur les écrous des boulons de jonction de la plaque, jusqu'à ce que celle-ci soit bien à son poste, les boulons de fondation étant fortement serrés, afin que le montage des autres pièces fixes ne produise pas un affaissement sensible. Cette précaution est surtout nécessaire si, en raison de sa grande longueur, l'arbre de couche doit être mis en place avant les bâtis et les cylindres.

Si l'on peut se dispenser de monter l'arbre de couche aussitôt après la plaque de fondation, on met en place les bâtis et les cylindres, en faisant cadrer les lignes de repère de ces derniers organes, pour que leurs axes soient dans le plan diamétral et perpendiculaires à l'axe de l'arbre. La plaque de fondation restant ainsi chargée pendant quelques jours, on vérifie à nouveau l'axe des paliers de l'arbre de couche, puis les écrous des boulons de fondation sont serrés à demeure et les coins de montage sont arrêtés.

Les vérifications à effectuer pendant le montage s'exécutent d'ailleurs ainsi qu'il est expliqué au n° 200_4 du *G^d Traité*.

Le montage des autres pièces fixes, tels que condenseurs, pompes à air, etc., etc., ne présentent aucune difficulté. — Dans bien des cas, les condenseurs font partie des bâtis qui supportent les cylindres, et sont naturellement montés avant ces organes.

Lorsque la machine à pilon est à cylindres bout à bout, les cylindres admetteurs ne peuvent être montés qu'après la mise en place des pistons et des couvercles des cylindres détendeurs. Ce montage ne présente d'ailleurs aucune difficulté.

N° 86_3 Montage des pièces mobiles. — Dans les machines horizontales, le montage des pièces mobiles s'effectue rigoureusement de la manière et dans l'ordre indiqué au n° 202_4, du *G^d Traité*. Toutefois, dans le cas d'une machine à cylindres bout à bout, les pistons des grands cylindres doivent être mis en place avant le montage des petits cylindres, à cause du peu d'espace qui existe entre les cylindres conjugués. Il en est de même pour les fonds des grands cylindres.

Dans les machines à pilon, le montage des pièces mobiles se commence habituellement par l'introduction des pistons dans les cylindres, ces pistons étant d'ailleurs fixés sur leur tige, et munis de leur gar-

niture, et par la mise en place de l'arbre de couche, si cette dernière pièce n'a pas été montée avant les cylindres. — Il va de soi que si la machine est à cylindres bout à bout, les petits cylindres ne sont montés qu'après la mise en place des grands pistons. — Quoi qu'il en soit, les pistons sont amenés jusqu'à reposer sur les couvercles des cylindres, mais en conservant en place les apparaux de manœuvre. Cela fait, on monte les traverses, les glissières et leurs coulisseaux; puis on met en place les grandes bielles. Pour chacune de ces pièces, on commence le montage par la tête; puis le pied de bielle est monté en soulevant le ou les pistons correspondants, jusqu'à ce qu'on puisse emmancher le pied de bielle en faisant tourner l'arbre. Lorsque les grandes bielles sont en place, on règle le serrage des garnitures des pistons. — L'ordre du montage des autres pièces mobiles est à peu près indifférent, et dépend d'ailleurs du système de machine et du genre des mécanismes à mettre en place. La seule précaution à prendre consiste à ne pas monter d'abord des pièces qui pourraient gêner pour la mise en place des autres.

A propos du montage des pistons, nous rappellerons d'une manière toute spéciale que, dans les machines Woolf, les garnitures n'ont pas besoin d'être bridées comme dans les machines à détente simple. Cela tient à ce que les fuites sont moins à craindre dans les premières machines que dans les secondes. En effet, dans les machines Woolf, les petites fuites aux cylindres admetteurs sont insignifiantes, puisque la vapeur va travailler dans les cylindres détendeurs; pour ces derniers, les différences de pression qui produisent les fuites ne dépassent pas $1^{at},25$. Il y a, par suite, intérêt à serrer modérément les pistons pour diminuer l'usure des cylindres et des bagues. Cette recommandation est surtout importante pour les machines Woolf à cylindres bout à bout, dans lesquelles les visites des pistons sont très-difficiles, en raison du peu de place dont on dispose.

Lorsque l'appareil moteur comprend des pompes de circulation indépendantes, ces pompes, ainsi que leur machine motrice, peuvent être montées en même temps que la machine principale, si l'on dispose d'un nombre suffisant d'ouvriers.

Les gabarits des divers tuyautages ne sont faits que lorsque les organes que les tuyaux doivent mettre en communication sont définitivement à leur poste.

CHAP. VIII, § 2. — VÉRIFICATION DES NOUVELLES MACHINES.

N° 87. — 1. Marche à suivre pour la vérification du montage. — 2. Vérification des axes des cylindres. — 3. Vérification des autres pièces fixes et des pièces mobiles. — 4. Montage, vérification et rectification de la ligne d'arbres.

N° 87_1 Marche à suivre pour la vérification du montage. — La marche à suivre dans la vérification et la rectification du montage est la même quelle que soit la position des cylindres par rapport au plan horizontal. L'ordre rationnel dans lequel il convient d'opérer est le suivant :

1° S'assurer du parallélisme des axes des cylindres placés côte à côte et vérifier si les axes des cylindres bout à bout sont dans le prolongement l'un de l'autre ;

2° Vérifier le parallélisme des glissières par rapport aux axes des cylindres ;

3° S'assurer si l'arbre de couche est dans le plan des axes des cylindres et s'il est perpendiculaire à ces axes ;

4° Vérifier la ligne d'arbres et la rectifier si besoin est.

N° 87_2 Vérification des axes des cylindres. — Voici les divers cas qui peuvent se présenter : 1° machines à deux, à trois ou à quatre cylindres côte à côte, horizontaux ; 2° machine à deux ou à un plus grand nombre de paires de cylindres bout à bout, horizontaux ; 3° machines à deux ou à trois cylindres côte à côte, à pilon ; 4° machines à deux ou à un plus grand nombre de paires de cylindres bout à bout, à pilon.

1er CAS. Le mode de procéder dans le premier cas, est donné en détail et d'une manière complète au n° 203_4 du *G⁴ Traité*.

2e CAS. Dans le cas où il s'agit de deux ou d'un plus grand nombre de paires de cylindres bout à bout, horizontaux, on peut agir ainsi qu'il suit :

Vérifier et rectifier au besoin l'axe de chacun des cylindres en abord par rapport à l'axe du cylindre intérieur correspondant, et vérifier entre eux les axes des diverses paires de cylindres. A cet effet, il faut tracer un plan *auxiliaire* auquel les axes des cylindres intérieurs seront parallèles, après rectification s'il y a lieu, en suivant pour la détermination de ce plan le moyen indiqué au n° 203_4 du *G⁴ Traité*.

Il va de soi que ce plan sera prolongé au-dessus des petits cylindres, et que les axes de ces derniers organes seront ramenés, s'il y a lieu, à être parallèles à ce plan auxiliaire, tout en restant dans le prolongement des axes des grands cylindres.

Remarquons, en passant, qu'il est bien rare que l'on ait besoin de rectifier le parallélisme des axes des cylindres ; car les machines ont en général leurs cylindres tellement bien jonctionnés entre eux, qu'un défaut marqué de parallélisme entraînerait inévitablement la rupture des brides ou des boulons de jonction.

3ᵉ CAS. La vérification des axes des cylindres des machines à pilon peut s'effectuer comme il est dit en II, n° 207_2 du *Gd Traité*, au sujet de la vérification des cylindres des machines verticales à roues. — Pour une machine à deux cylindres, il suffit de s'assurer si les plans des collerettes supérieures de ces cylindres se confondent, ou tout au moins si ces plans sont parallèles. Pour les machines à trois cylindres, on effectue la même vérification que ci-dessus de chacun des cylindres extrêmes avec le cylindre milieu, et l'opération se termine en s'assurant, à l'aide d'une règle passant par les centres des collerettes des cylindres extrêmes, que l'axe du cylindre milieu vient également tangenter cette règle.

4ᵉ CAS. S'il s'agit d'une machine à pilon à cylindres bout à bout, on opère d'abord comme ci-dessus pour les cylindres admetteurs, qui sont au-dessus ; puis on s'assure que les axes des cylindres détendeurs sont dans le prolongement des axes des cylindres admetteurs.

N° 87_3 Vérification des autres pièces fixes et des pièces mobiles. — Pour la vérification des pièces fixes, telles que glissières, axes des diverses pompes, etc., nous renverrons le lecteur au n° 203_4 du *Gd Traité*, s'il s'agit d'une machine horizontale ; et au n° $207_{2 et 4}$ de ce même *Traité*, s'il s'agit de machines verticales. — Tout ce qui est relatif à la vérification et à la rectification de ces pièces, est expliqué en détail dans ces numéros, et nous n'avons rien à y ajouter.

Pour la vérification des pièces mobiles, se reporter aux indications données en IV du n° 203_4 et en V, VII et IX du n° 207_2 du *Gd Traité*.

N° 87_4 Montage, vérification et rectification de la ligne

d'arbres. — Pour le montage, la vérification et la rectification de la ligne d'arbres, y compris l'arbre de couche, se reporter au n° **204** du *G^d Traité*, pour le cas d'une machine à hélice ; et au n° **208**, pour le cas d'une machine à roues.

FIN DU TOME III ET DE TOUT L'OUVRAGE.

TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES

DU TOME III

CHAPITRE IV.

DISPOSITIONS RÉCENTES SE RENCONTRANT DANS LES PROPULSEURS, LES CHAUDIÈRES ET LES APPAREILS ALIMENTAIRES, D'ÉPUISEMENT DE CALE ET AUXILIAIRES DIVERS DES MACHINES MARINES ACTUELLES.

CHAP. IV, § 1er. — PROPULSEURS.

Nos et articles.		Pages.
55-1	Types d'hélices les plus répandus actuellement	1
	Hélice Griffith	2
	Hélice Hirsch	3
	Hélice à ailes courbes de la marine française	5
	Autre type d'hélice à ailes courbes de la marine française	6
	Hélice à ailes percées	8
2	Remarques sur le recul négatif	8
3	Considérations générales sur la propulsion des navires	11
	Du coefficient de vitesse actuellement en usage	15
4	Calcul de l'effort exercé sur le palier de butée, le bâtiment étant en marche ou amarré	17
5	Hélices jumelles	21
6	Évolueurs mécaniques	23
7	Dispositions diverses relatives à l'installation des hélices à l'arrière	26
	Ligne d'arbres	28
	Palier de butée	30
	Vireur	32
	Hélices à immersion variable	32
56-1	Des propulseurs hydrauliques en général. Historique succinct	33
2	Considérations générales sur les propulseurs hydrauliques	34
3	Résultats d'expériences sur les propulseurs hydrauliques Ruthwen et Cockerill.	38
4	Avantages et inconvénients des propulseurs hydrauliques	41

CHAP. IV, § 2. — THÉORIE GÉNÉRALE DES CHAUDIÈRES.

N°s et articles.		Pages.
57-1	De la combustion de la houille sur la grille	42
2	Influence des conduits de flamme et de la cheminée sur la combustion	44
	Chaleur perdue par les cheminées. Courants de flamme	46
3	Influence de la conduite des feux sur la combustion	47
4	Influence du mode de tirage sur la combustion	49
5	De la température dans le foyer due à la combustion	54
6	Du moyen d'améliorer la combustion de la houille par une modification de l'état physique du combustible	57
7	Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par l'amélioration de celle de ses gaz	59
8	Des moyens d'améliorer la combustion de la houille par le mode de chargement de la grille	60
58-1	Conductibilité des parois des chaudières : influence de la nature et de l'épaisseur du métal	63
2	Rôle et rendement de la surface de chauffe. Distinction entre les différentes parties de cette surface; moyens d'obtenir le meilleur rendement	66
	Influence de la surface de la grille sur la production de vapeur	69
	Influence de la surface de chauffe	69
3	Chambre à eau; meilleures dispositions à adopter	70
4	Chambre à vapeur et orifice du tuyau de vapeur; meilleures dispositions à adopter	72
5	Épaisseur du métal des chaudières sous le rapport de la résistance	75
	Tirants et entretoises. Parois planes	77
6	Conditions d'établissement des chaudières au point de vue des explosions	79
7	Résumé des dispositions les plus avantageuses à adopter pour les chaudières	80

CHAP. IV, § 3. — DESCRIPTION DES TYPES NOUVEAUX DE CHAUDIÈRES ET DE LEURS ACCESSOIRES.

59-1	Chaudière marine démonstrative, à haute pression	85
2	Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de la pression	90
3	Classification des chaudières marines actuelles au point de vue de leurs dispositions	91
4	Principales proportions et rendement des chaudières marines actuelles	91
	Rendement	93
60-1	Types divers de chaudières à faces planes, tubulaires à retour de flamme	93
	Chaudières à faces planes renforcées, type réglementaire dans la marine	94
	Chaudières à faces planes renforcées, type de Napier de Glascow	96
	Chaudière à faces planes, à haute pression : type de Ravenhil Salked et Cie	97
	Chaudière demi-cylindrique, à foyers cylindriques : type de Paquet et Cie	97
	Chaudières à foyers cylindriques, tubulaires à retour de flamme : type de Day, Summers et Cie	99
2	Types divers de chaudières cylindriques, tubulaires à retour de flamme	99
	Chaudières cylindriques, à deux corps adossés : type anglais	100
	Chaudière cylindrique à foyers adossés et à bouilleur : autre type anglais	101
	Chaudière cylindrique : types de Chevalier et Grenier, de Scott	102
	Divers types de chaudières américaines cylindriques	102
	Chaudières cylindriques à haute pression, pour canots à vapeur	103
3	Tuyautage complet de la machine et des chaudières d'un bâtiment, ainsi que des appareils annexes	104
4	Types divers de chaudières tubulaires à flamme directe	105
	Type anglais à double corps	106

Nos et articles.		Pages.
	Chaudière cylindrique de M. Oriolle, pour canot	106
	Chaudière Binet, pour grande embarcation	107
	Chaudières à flamme directe à carneaux	109
61-1	Chaudières à tubes renfermant l'eau	109
2	Types divers de chaudières à tubes verticaux renfermant l'eau	110
	Chaudières avec tubes en penditif : système Field	110
	Chaudière d'Armand Girard	112
	Chaudière de Lagrafel	112
	Chaudière de Lee et Learnd	113
	Chaudière de Ashton	114
	Chaudière de Martin	115
	Chaudière de Caird et de Davay-Paxman	116
3	Types divers de chaudières à tubes horizontaux ou légèrement inclinés renfermant l'eau	117
	Chaudière de Dupuy de Lôme	117
	Chaudière de Barret et Lagrafel	117
	Chaudières de Watt, de Loftus Perkins, de Rowant et Horton, de Palmer et de Sergeant	118
	Chaudière d'Émile Duclos	120
	Chaudière Peuelle, pour canot	121
4	Chaudière Belleville pour canot à vapeur	126
5	Appareil évaporatoire Belleville pour navire	130
	Description détaillée de l'épurateur dans les chaudières Belleville	131
	Cylindre-niveau et automoteur d'alimentation	132
6	Derniers perfectionnements apportés aux appareils Belleville pour navire	133
	Grille Belleville à circulation d'eau	135
7	Fonctionnement des chaudières Belleville	136
8	Avantages et inconvénients des chaudières Belleville	139
9	Considérations diverses relatives aux chaudières à haute pression	141
	Conditions à remplir. — Sécurité	141
	Économie de combustible	142
	Économie de poids et d'encombrement	143
	Facilité de conduite	144
	Facilités des nettoyages et des réparations	145
	Absence d'entraînement d'eau. — Régularité de marche. — Conclusions	146
10	Réparateur des pertes d'eau douce	147
62-1	Tôles actuellement en usage pour les chaudières de l'Etat	148
	Feutrage des parois	152
2	Confection des chaudières en tôle d'acier	153
	Classification par dimensions des tôles d'acier	155
	Épreuves de recette des tôles d'acier. — Épreuves à froid	156
	Essais à chaud	157
	Essais de trempe	158
	Épreuves de recette des cornières, barres profilées à boudin, à T simple ou double, en acier. — Épreuves à froid	158
	Essais de trempe. — Essais à chaud	159
	Rivets d'acier	160
	Aperçu de la réduction du poids des chaudières résultant de la substitution de l'acier au fer	160
3	Combustibles liquides	161
	Foyers à pétrole	164
	Conclusions sur l'emploi des huiles minérales au chauffage des chaudières à vapeur	168
4	Appareils fumivores	169
	Foyers fumivores avec grilles fixes	170
	Grilles mobiles	171
	Appareil fumivore par injection d'air supplémentaire	171

Nos et articles.		Pages.
	Appareils fumivores mécaniques	172
	Conclusions sur l'emploi des appareils fumivores. Économie qui en résulte	173
5	Tubes mobiles: systèmes divers	173
	Observations sur l'emploi des tubes Langlois, Toscer et Gantelme	176
	Tubes Infernet et Gouttes	177
6	Dispositions récentes pour sécheurs et surchauffeurs	178
7	Sifflets de signal	179
8	Boîte à clapets pour extraction continue	180
9	Nouvelles éprouvettes de salinomètre : système Bienaymé	181
	Éprouvette de salinomètre : système anglais	182

CHAP. IV, § 4. — DISPOSITIONS ACTUELLES DES APPAREILS ALIMENTAIRES ET D'ÉPUISEMENT DE CALE; MACHINES A VAPEUR AUXILIAIRES DIVERSES. AÉRATION DES CHAMBRES DE MACHINES.

63-1	Dispositions récentes pour pompes et boîtes alimentaires	182
	Boîte alimentaire, dernier type d'Indret	183
	Soupape annulaire pour refoulement de pompe alimentaire	185
	Clapet de pompe alimentaire des Forges et chantiers de la Méditerranée	186
	Réchauffeurs de l'eau d'alimentation	186
2	Crépine réglementaire pour pompe de cale	188
3	Perfectionnements divers apportés à l'injecteur Giffard	188
	Injecteur automoteur de Willams Seller	189
4	Siphons à vapeur pour exhaustion et aérateur pour appareil distillatoire. — Siphon à vapeur pour canot	190
	Siphon américain. — Éjecteur Friedmann pour épuisement de cale	191
	Pulsomètre Hall	192
	Éjecteur d'escarbilles, système Robertson	193
	Aérateurs pour appareil distillatoire	194
5	Réservoir d'air actuel des petits chevaux réglementaires	195
6	Pompe à vapeur Lee et Learnd	195
7	Pompes centrifuges. — Moteur Brotherhood	197
64-1	Des machines rotatives en général	203
2	Considérations générales sur la rotative Behrens	204
3	Type de rotative Behrens, pour épuisement de cale	205
4	Type de rotative Behrens, pour petit cheval	208
65-1	Fonctionnement du Behrens à pleine introduction	211
	Travail du Behrens fonctionnant à pleine introduction	213
2	Espaces neutres et volume du Behrens fonctionnant à pleine introduction	215
3	Fonctionnement du Behrens avec détente	216
	Travail du Behrens fonctionnant avec détente	217
4	Espaces neutres et volume du Behrens fonctionnant avec détente	220
5	Tracé du profil des cames du Behrens	221
6	Propriétés et calcul des espaces neutres du Behrens	224
7	Jeu de la pompe du Behrens	225
8	Résumé des principales expériences faites sur le Behrens	227
66-1	Tuyautage général pour épuisement de cale	231
2	Pompes à vapeur diverses pour incendie. — Pompes fixes	232
	Pompes flottantes	236
	Pompes locomobiles	237
3	Treuils et cabestans à vapeur	242
4	Appareils à vapeur pour manœuvrer le gouvernail	246
5	Aération des chambres de machines	253

CHAPITRE V.

TRAVAIL ET RÉGULATION DES MACHINES. — COUPLES DE ROTATION. — COMPTEURS DES NOMBRES DE TOURS ET INDICATEURS DE LA VITESSE.

CHAP. V, § 1er. — TRAVAIL DES MACHINES.

Nos et articles.		Pages.
67-1	Indicateur Paul Garnier nouveau modèle	256
2	Indicateur Richard	259
3	Placement de l'indicateur	261
	Relevé des courbes d'indicateur	264
4	Indicateur continu, compteur enregistrant de Ashton	265
68-1	Détermination de l'effort moyen sur les pistons, d'après les courbes d'indicateur	268
	Appareil Masson pour diviser les diagrammes	268
2	Calcul du travail sur les pistons dans les machines ordinaires	270
	Détermination de la puissance moyenne développée pendant les essais	271
3	Calcul du travail sur les pistons dans une machine Woolf. — Effort moyen pratique	272
	Effort moyen fictif	273
4	Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure	273
	Poids de vapeur sensible aux cylindres dans une machine ordinaire	273
	Poids de vapeur par cheval et par heure dans une machine ordinaire	275
5	Calcul du poids de vapeur dépensée par cheval et par heure dans une machine Woolf	276
	Poids de vapeur sensible aux cylindres	276
	Poids de vapeur dépensée par cheval et par heure	277
6	Appareil Knigt pour la détermination du poids d'eau entraînée par la vapeur.	277
69-1	Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf	278
2	Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres bout à bout, points morts communs	279
3	Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à cylindres côte à côte, points morts à 90°	281
4	Analyse des courbes d'indicateur des machines Woolf, à trois cylindres côte à côte, points morts à 90° et 135°	285
	Calage des manivelles à 120°	288

CHAP. V, § 2. — RÉGULATION DES MACHINES.

70-1	Détermination des éléments de la régulation d'un tiroir par l'épure naturelle..	289
	Résumé	295
	Eléments de la régulation donnés par l'épure naturelle	297
2	Courbes de régulation des machines Woolf, à cylindres bout à bout ou côte à côte, points morts communs	299
	I. — Machines Woolf, à cylindres bout à bout, points morts communs	299
	II. — Machines Woolf, à cylindres côte à côte, points morts à 180°	301
3	Courbes de régulation des machines Woolf, à deux cylindres côte à côte, points morts à 90°	302
4	Courbes de régulation des machines Woolf, à trois cylindres égaux, côte à côte, points morts à 90° et 135°	304

Nos et articles. Pages.

Modifications apportées aux éléments de la régulation, pour obtenir l'inégalité d'introduction au cylindre admetteur et aux cylindres détendeurs...... 307
Régulation actuelle des machines Woolf à trois cylindres. — I. — Marengo... 309
II. — Sané........ 310
III. — Suffren........ 312
IV. — Anadyr........ 313
5 Courbes de régulation pour une détente Meyer........ 314
I. — Organe de détente Meyer de course fixe et à barrettes d'écartement variable, conduit par un excentrique à calage fixe........ 315
II. — Organe de détente Meyer de course variable, conduit par une excentrique à calage fixe........ 318

Chap. V, § 3. — Couples de rotation.

71-1 De la détermination rigoureuse du couple de rotation d'une machine en marche. 320
2 Détermination pratique du couple de rotation d'une machine........ 324
3 Couples de rotation des divers systèmes et types de machines en usage dans la marine. — Henri IV. — Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte, points morts à 90°........ 328
Guyenne. — Machine ordinaire, horizontale à deux cylindres, points morts à 90°. 330
Gauloise. — Machine ordinaire, horizontale à trois cylindres, points morts à 120°........ 331
Savoie. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres, points morts à 120°.. 332
Infernet. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres, points morts à 90 et 135°........ 333
Iraouaddy. — Machine Woolf, à pilon à trois cylindres, points morts à 90 et 135°........ 335
Etoile du Chili. — Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte, points morts à 180°........ 336
France. — Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout, points morts à 90°........ 337
Rigault de Genouilly. — Machine Woolf, horizontale à trois paires de cylindres bout à bout, points morts à 120°........ 339
Tourville. — Machine Woolf, horizontale à quatre paires de cylindres bout à bout, points morts à 90 et 180°........ 340
4 Couple moteur de départ d'une machine. Détermination des positions défavorables à la mise en marche........ 341
Guyenne. — Machine ordinaire, horizontale à deux cylindres, points morts à 90°........ 343
France. — Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres bout à bout, points morts à 90°........ 345
Marengo. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres côte à côte, points morts à 90 et 135°........ 347
Suffren. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres côte à côte, points morts à 90 et 135°........ 348
Infernet. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres côte à côte, points morts à 90 et 135°........ 350
Sané. — Machine Woolf, horizontale à trois cylindres côte à côte, points morts à 90 et 135°........ 351
Etoile du Chili. — Machine Woolf, à pilon à deux paires de cylindres côte à côte, points morts à 180°........ 352
Henri IV. — Machine Woolf, à pilon à une paire de cylindres côte à côte, points morts à 90°........ 353
Rigault de Genouilly. — Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à trois paires de cylindres bout à bout, points morts à 120°........ 355

Nos et articles. Pages.

Tourville. — Machine Woolf, horizontale à bielle en retour à quatre paires de cylindres bout à bout, points morts à 90 et 180° 356

Chap. V, § 4. — Compteurs enregistreurs; indicateurs du nombre de tours; indicateurs de la vitesse.

72-1 Considérations générales sur les appareils enregistreurs et sur les indicateurs du nombre de tours 357
2 Compteurs enregistreurs du nombre de tours 358
Compteur double système Martin 359
Compteur à mouvement continu dit vélocimètre 360
3 Indicateur du nombre de tours par minute, système Madamet 361
4 Cinémomètre ou indicateur du nombre de tours par minute, système Jacquemier 364
5 Compteur différentiel, indicateur de la vitesse, système Valessie 366

CHAPITRE VI.

CONDUITE ET ENTRETIEN DES APPAREILS A VAPEUR DE NAVIGATION.

Chap. VI, § 1er. — Combustibles.

73-1 Combustibles actuels. Agglomérés 372
Résultats des essais des charbons 375
2 Épreuves de calcination et d'incinération 380
3 Appareil Orsat pour analyser la fumée 383

Chap. VI, § 2. — Conduite des chaudières.

74-1 Conduite des chaudières ordinaires à haute pression avec l'emploi des condenseurs à surface 387
Faire le plein. Charger les fourneaux. Allumage 389
Dispositions à prendre pendant la marche. Conserver un niveau constant. Précautions à prendre relativement à l'alimentation en marche 390
Abaissement notable du niveau de l'eau aux chaudières. Mesures à prendre. 392
Ebullitions et projections d'eau 393
Supprimer une chaudière à la mer et en allumer une autre. Activer ou ralentir les feux. Stoppage 394
Rester sur les feux. Pousser les feux. Mettre bas les feux 395
2 Conduite des chaudières Belleville. Faire le plein. Charger les fourneaux. Allumage 396
Dispositions à prendre pendant la marche. Conserver un niveau constant. Précautions relatives à l'alimentation soit en marche, soit quand on va stopper ou qu'on est déjà stoppé 397
Abaissement notable du niveau de l'eau aux chaudières. Mesures à prendre.. 398
Ebullitions et projections d'eau. Supprimer une chaudière à la mer et en allumer une autre. Activer ou ralentir les feux. Stoppages ou arrêts...... 400

N°s et articles. Pages.

Rester sur les feux. Remonter en pression. Mettre bas les feux. Marche accidentelle à l'eau saumâtre ou à l'eau de mer.... 401
3 Emploi des anti-calcaires.... 403
Désincrustant Féron. Zinc. Anti-calcaire Froideville.... 405
Chaudières alimentées à l'eau douce naturelle.... 406

Chap. VI, § 3. — Conduite des machines.

75-1 Précautions à prendre pour la mise en marche et pendant la marche des machines Woolf des divers types. Dispositions à prendre avant le départ... 408
Echauffer la machine; purger le condenseur.... 409
Balancer. Mettre en marche; régler la vitesse; stopper et renverser la marche. 410
2 Conduite des condenseurs à surface. Soins à donner aux condenseurs à surface avant la mise en marche.... 414
Soins à donner aux condenseurs à surface pendant la marche.... 415
Soins à donner aux condenseurs à surface pendant un temps d'arrêt sous vapeur.... 416
Soins à donner aux condenseurs à surface à l'arrêt définitif de l'appareil moteur.... 416
3 Appareil Hétet et Risbec pour dégraisser l'eau d'alimentation.... 417

Chap. VI, § 4. — Journal de la machine et rapport semestriel.

76-1 Journal de la machine.... 422
Des allures de marche sous vapeur; leur détermination. Consommations normales à chaque allure.... 423
Marche auxiliaire.... 424
Allumage; feux entretenus; feux remis en activité; eau distillée. Consommations normales afférentes aux divers cas.... 425
2 Rédaction du journal.... 425
Souche.... 427
3 Carnet spécial des chefs de quart.... 436
4 Bulletin de voyage.... 436
5 Nombre de feux à maintenir en activité. Problèmes de navigation à la vapeur.... 438
77-1 Rapport semestriel, son but; modèle.... 441
2 Explications relatives au tableau du recto.... 447
3 Explications relatives au tableau du verso.... 450
4 Coefficients de rendement. Coefficient de rendement de la machine seule... 452
5 Résumé des consommations de houille. — Notice sur les charbons employés. — Compte rendu des circonstances qui ont pu modifier d'une manière sensible le rendement de l'appareil moteur.... 455

Chap. VI, § 5. — Entretien des chaudières et des machines.

78-1 Essais à froid des chaudières.... 456
2 Enlèvement des dépôts salins ou graisseux.... 461
Chaîne Joublin.... 462
Courroie Lambert.... 464
Appareil Rowland.... 465
3 Conservation des chaudières sur les bâtiments désarmés.... 466
79-1 Essais des machines après le montage ou après des réparations importantes. 468

Nos et articles.		Pages.
2	Entretien des machines sur les bâtiments en réserve ou désarmés..........	471
3	Entretien des condenseurs à surface et soins à donner à ces appareils et à leurs accessoires sur les bâtiments en réserve et désarmés..............	476
80-1	Modifications apportées aux appareils à plongeur..............................	477
2	Combustions spontanées du charbon dans les soutes....................	480
3	Appareils divers pour combattre l'incendie..........................	481
	Moyens de faire couler le bâtiment. — Appareil respiratoire Galibert........	483

CHAPITRE VII.

AVARIES ET RÉPARATIONS.

CHAP. VII, § 1. — AVARIES ET RÉPARATIONS DES CHAUDIÈRES.

81-1	Explosions ; leurs causes habituelles....................................	485
	Moyens de prévenir les explosions	488
2	Nouveaux types de soupapes de sûreté. — Soupape Rochford.............	489
	Soupape-piston de sûreté Maurel et Truel..................................	491
3	Coups de feu dus aux dépôts graisseux	493
82-1	Avaries et réparations diverses aux chaudières ordinaires	493
	Consolidation d'une chaudière vieillie et que l'on ne peut remplacer. — Consolidation des entretoises du fond des chaudières........................	494
	Consolidation de la partie basse de la façade..................................	495
2	Avaries spéciales aux chaudières Belleville....................................	496
	Outils de démontage et de réparation. Démonter un élément ou un groupe tubulaire...	497
	Démonter un tube. Couper une bague. Changer un tube....................	498
	Fuites aux divers joints. Réparer un tube	499
	Réparation des boîtes de raccord. Remontage de l'appareil................	500
3	Avaries dans les organes d'alimentation	501

CHAP. VII, § 2. — AVARIES DANS LES MACHINES.

83-1	Avaries dans les cylindres...	502
2	Moyens à employer pour continuer de fonctionner avec un cylindre avarié, dans les machines ordinaires à trois cylindres et dans les machines Woolf ou Compound..	506
3	Avaries des tiroirs..	510
84-1	Avaries dans les condenseurs par mélange ; rentrée d'air dans le condenseur. Rupture de la paroi commune au condenseur et à la bâche...............	512
2	Avaries dans les condenseurs à surface et leurs organes	513
3	Transformation d'un condenseur par surface en condenseur par mélange....	515
	Transformation d'une machine avariée en machine sans condensation	516
4	Avarie d'une tige de pompe à air	516
85-1	Avaries des arbres de couche. Avarie d'un arbre de couche d'une machine à roues	517
2	Avarie dans un vilebrequin..	519
3	Avarie d'un tronçon de la ligne d'arbres	522
4	Avarie d'un arbre d'hélice	523

CHAPITRE VIII.

MONTAGE ET VÉRIFICATION DES NOUVELLES MACHINES.

CHAP. VIII, § 1. — MONTAGE DES NOUVELLES MACHINES.

Nos et articles.		Pages.
86-1	Détermination de l'axe de la ligne d'arbres et des repères de montage	526
2	Montage des pièces fixes	527
3	Montage des pièces mobiles	530

CHAP. VIII, § 2. — VÉRIFICATION DES NOUVELLES MACHINES.

87-1	Marche à suivre pour la vérification du montage	532
2	Vérification des axes des cylindres	532
3	Vérification des autres pièces fixes et des pièces mobiles	533
4	Montage, vérification et rectification de la ligne d'arbres	533

INDEX DES PRINCIPAUX TABLEAUX QUI SE TROUVENT DANS LE TOME III

55-3	Valeurs du coefficient de résistence *i* de l'hélice, tenant compte de l'immersion des ailes	14
55-4	Coefficient par lequel il faut multiplier l'ancienne valeur (*m*) du coefficient de vitesse, pour obtenir la nouvelle valeur (M) de ce coefficient	17
55-4	Eléments généraux concernant les coques et la propulsion des bâtiments à hélice actuels des principales catégories, groupés par moyennes en nombres ronds, relatives à des navires sensiblement de même espèce et grandeur	18
56-3	Résultats d'expériences sur les propulseurs hydrauliques Ruthwen	39
56-3	Résultats d'expériences sur le propulseur hydraulique de Cockerill	41
57-4	Résultats d'expériences sur le tirage forcé	51
58-7	Poids rapporté au mètre carré de grille des principaux types de chaudières	82
59-1	Dimensions et éléments principaux des chaudières cylindriques réglementaires dans la marine	89
59-4	Dimensions principales des divers types de chaudières usités actuellement	92
60-1	Données principales relatives aux chaudières réglementaires à faces planes du type haut renforcé	95
60-2	Données principales relatives aux chaudières cylindriques pour canots à vapeur.	104
61-3	Données principales et échantillons des matériaux de la chaudière Penelle, pour canots à vapeur	125
62-1	Tableau des qualités et des dimensions des tôles pour la construction des chaudières à faces planes, à moyenne pression	150
62-2	Tableau de classification des tôles d'acier, des bandes et couvre-joints en acier.	155
62-2	Tableau des charges et des allongements lors de l'essai des tôles d'acier, des bandes et des couvre-joints en acier	157
62-2	Tableau des charges et des allongements lors de l'essai des barres profilées à boudin, à T simple ou double, en acier	159

Nos et articles		Pages
62-3	Densités et températures correspondantes d'inflammation du pétrole.......	162
73-1	Eléments généraux des combustibles minéraux et action des réactifs sur ces combustibles..	373
73-1	Résultats moyens des essais faits dans les ports sur les charbons employés à la navigation.......................... ....376 à	379
73-2	Composition élémentaire et résultats de la calcination de quelques combustibles..	382
76-1	Allocations de combustible pour allumage, entretien et remise en activité des feux..	425
76-2	Modèle d'un bulletin de quart	426
76-2	Tableau de la consommation de charbon des petits chevaux................	429
76-3	Modèle du carnet spécial des chefs de quart......................... 434 à	435
76-4	Modèle du bulletin de voyage...	437
77-1	Modèle du rapport semestriel.............................. 442 à	445
78-1	Modèle du tableau des résultats des essais à froid des chaudières	459

FIN DE LA TABLE ANALYTIQUE DES MATIÈRES DU TOME TROISIÈME ET DERNIER.

